

**PROPUESTA DE CONTRATO DE INGRESOS COMPARTIDOS
COMO MECANISMO DE COORDINACIÓN DE UNA CADENA
DE SUMINISTRO FRUTÍCOLA DE LA REGIÓN CENTRO DEL
VALLE DEL CAUCA**

STIVEN ANDRÉS VIEDMAN AGUDELO



**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DEL VALLE
ZARZAL
2018**

**PROPUESTA DE CONTRATO DE INGRESOS COMPARTIDOS
COMO MECANISMO DE COORDINACIÓN DE UNA CADENA
DE SUMINISTRO FRUTÍCOLA DE LA REGIÓN CENTRO DEL
VALLE DEL CAUCA**

STIVEN ANDRÉS VIEDMAN AGUDELO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO INDUSTRIAL**

**Director:
Msc. Diego León Peña Orozco**



**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DEL VALLE
ZARZAL
2018**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado: _____

Jurado: _____

Jurado: _____

Zarzal, Febrero 08 de 2018

DEDICATORIA

A Nancy y Aurelio.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3. JUSTIFICACIÓN	12
4. OBJETIVOS	14
4.1 Objetivo general.....	14
4.2 Objetivos específicos	14
5. METODOLOGÍA.....	15
6. MARCO TEÓRICO.....	17
6.1 Relaciones colaborativas en la cadena de suministro	17
6.2 Coordinación en las cadenas de suministro	18
6.3 Mecanismos de coordinación	21
6.3.1 Tecnologías de información	21
6.3.2 Intercambio de información y datos.....	22
6.3.3 Toma de decisiones conjunta.....	22
6.3.4 Contratos de suministro	22
6.4 Contrato de ingresos compartidos	24
6.4.1 Problema del vendedor de periódicos en el contrato de ingresos compartidos.....	24
6.4.2 Funcionamiento del contrato de ingresos.....	26
6.4.3 Coordinación de la cadena de suministro con el contrato de ingresos compartidos.....	28
6.5 Teoría de juegos.....	30
6.5.1 Juegos simultáneos y secuenciales	30
6.5.1.1 Modelo de Cournot	31
6.5.1.2 Modelo de Bertrand	32
6.5.1.3 Modelo de Stackelberg	33
6.5.1.4 Liderazgo de precios	34
6.6 Marco normativo	34
7. DIAGNÓSTICO DE LA CADENA DE SUMINISTRO.....	37
7.1 Sector frutícola en el departamento del Valle del Cauca	37
7.2 Producción de cítricos en el departamento del Valle del Cauca	38
7.3 Representación general de la cadena de suministro	39

7.4	Estimación de los parámetros comerciales.....	41
8.	MODELO PROPUESTO	47
8.1	Modelo referente.....	47
8.2	Características del modelo propuesto	55
8.3	Notación.....	56
8.4	Modelamiento del escenario centralizado.....	56
8.5	Modelamiento del escenario descentralizado	57
8.6	Contrato de ingresos compartidos	59
8.6.1	Contrato de ingresos compartidos de abarcamiento	61
8.6.2	Solución del contrato.....	61
8.6.2.1	Determinar las condiciones para alcanzar la utilidad óptima	62
8.6.2.2	Proponer un método de fijación de precios colaborativo	62
8.6.2.3	Formular una solución gana-gana.	62
8.6.2.4	Determinar los valores de las variables del contrato	63
9.	CASO DE ESTUDIO	64
9.1	Aplicación de la propuesta.....	66
10.	ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	69
10.1	Análisis de sensibilidad	69
10.1.1	Análisis de la desviación del tamaño de orden de la cadena.....	69
10.1.1.1	Representación gráfica.....	72
10.1.2	Análisis del diferencial de la utilidad de la cadena	73
10.1.2.1	Análisis de $\Delta\pi(p, s)$	74
10.1.2.2	Análisis de $\Delta\pi(U, L)$	74
10.1.3	Análisis de las fluctuaciones de los precios	75
10.1.3.1	Efecto de las variaciones de p	76
10.1.3.2	Efecto de las variaciones en s	77
10.1.4	Efecto de contracciones en la demanda	78
10.2	Discusión sobre el modelo de contrato.....	81
11.	CONCLUSIONES	83
12.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	84
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Producción nacional de cítricos	38
Tabla 2. Notación matemática del modelo propuesto	56
Tabla 3. Resumen de parámetros	67
Tabla 4. Comparación del escenario centralizado vs descentralizado	67
Tabla 5. Comparación de resultados	68
Tabla 6. Comparación del desempeño de los eslabones en el EDNC vs EDC	68
Tabla 7. Análisis de delta Q variando p	71
Tabla 8. Análisis de delta Q variando s.....	71
Tabla 9. Efecto de las variaciones de p en la utilidad	76
Tabla 10. Efecto de las variaciones de s en la utilidad.....	77
Tabla 11. $(L - U)$ vs utilidad.....	79
Tabla 12. $(L - U)$ vs promedio de la distribución	80
Tabla 13. $(L - U)$ vs rango de la distribución.....	80
Tabla 14. $(L - U)$ vs desviación estándar de la distribución.....	80
Tabla 15. $(L - U)$ vs coeficiente de variación de la distribución	81

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Proceso de transición de las relaciones colaborativas.....	17
Ilustración 2. Clasificación esquemática de la coordinación de la cadena de suministro....	20
Ilustración 3. Estructura básica del contrato de ingresos compartidos	27
Ilustración 4. Clasificación de la coordinación de la cadena de suministro de acuerdo al escenario de toma de decisiones	28
Ilustración 5. Flujo de la cadena de suministro objeto de estudio	40
Ilustración 6. Diagrama de dispersión de los datos de demanda semanal de los productores	43
Ilustración 7. Diagrama de dispersión de los datos de precios de los productores	44
Ilustración 8. Diagrama de dispersión de los datos de producción mensual de los productores	44
Ilustración 9. Diagrama de dispersión de los datos de costo variable de los productores ...	45
Ilustración 10. Diagrama de dispersión de los datos de precio de salvamento de los productores.....	45
Ilustración 11. Evolución del precio histórico del limón registrado en Corabastos.....	46
Ilustración 12. CIC por parejas vs CIC abarcamiento	48
Ilustración 13. Secuencia de eventos de la cadena de suministro del modelo referente.....	49
Ilustración 14. Proceso de inducción hacia atrás del modelo referente	50
Ilustración 15. Secuencia de toma de decisiones en el modelo propuesto.....	58
Ilustración 16. Proceso de inducción hacia atrás del modelo propuesto.....	58
Ilustración 17. Transición del ambiente no cooperativo al cooperativo	60
Ilustración 18. Representación del contrato de ingresos compartidos de abarcamiento.....	60
Ilustración 19. Representación de los cambios de delta Q.....	70
Ilustración 20. Análisis de $\Delta Q(p,s)$	72
Ilustración 21. Análisis de $\Delta Q(L,U)$	73
Ilustración 22. Análisis de $\Delta \pi(p,s)$	74
Ilustración 23. Análisis de $\Delta \pi(U,L)$	75
Ilustración 24. Precio vs utilidad de la CS	76
Ilustración 25. Variación porcentual de p vs variación porcentual de la utilidad de la CS .	77
Ilustración 26. Precio de salvamento vs utilidad de la CS	78
Ilustración 27. Variación porcentual de s vs variación porcentual de la utilidad de la CS ..	78

1. INTRODUCCIÓN

Las cadenas de abastecimiento son sistemas caracterizados por relaciones inter organizacionales e inter-funcionales donde las dinámicas de los mercados e inexistencia de voluntad hacia las relaciones colaborativas, conllevan a que cada integrante busque la maximización de su propio desempeño y alcance de objetivos individuales, esta situación implica que cada miembro busque optimizar su propia utilidad, lo cual, aunque aceptable desde el punto de vista de la organización, puede derivar en resultados globalmente ineficientes; para abarcar este problema, es necesario adoptar mecanismos de coordinación apropiados, los cuales modifican los incentivos recibidos por los diferentes agentes involucrados, del mismo modo que los induce a maximizar la utilidad total de la cadena de abastecimiento (Giannoccaro & Pontrandolfo, 2004).

Los resultados alcanzados en la cadena de abastecimiento coordinada pueden ser obtenidos por medio de contratos de suministro, los cuales son definidos por (Van der Rhee, Van der Veenb, Venugopal & Vijayender, 2010) como un método para alcanzar la coordinación en la cadena de abastecimiento mediante la modificación de los términos de intercambio a través de la introducción de parámetros de comercio entre las partes, de tal modo que se ofrecen incentivos para compartir riesgos y/o recompensas. El contrato de ingresos compartidos forma parte de estos mecanismos, las investigaciones han demostrado que los contratos de ingresos compartidos son apropiados para alcanzar la coordinación en diferentes tipos de cadenas de abastecimiento (Cachon & Lariviere, 2005) mediante la modificación de dos valores a definir, el precio al por mayor y el coeficiente de distribución de ingresos.

Con base en lo anterior, el presente proyecto expone el diseño de un contrato de ingresos compartidos como mecanismo de coordinación para una cadena de suministro frutícola en la región centro del Valle del Cauca, Colombia de tres eslabones donde intervienen pequeños productores de frutas, el intermediario y el detallista. Para ello se recolecta información relevante sobre las características de la cadena de suministro frutícola de pequeños productores, se abordan los elementos conceptuales propios de la cadena de suministros; también los conceptos importantes sobre la coordinación y toma decisiones en cadenas centralizadas y descentralizadas, se definen los elementos clave que se incluyen en el modelo de contrato propuesto y finalmente, se presenta el modelo junto al análisis de sensibilidad correspondiente, en el cual se señalan los alcances y limitaciones del contrato.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desempeño de las cadenas de abastecimiento frutícolas ha sido un tema anteriormente discutido en la literatura académica, las problemáticas en torno al desempeño de este tipo de cadenas son objeto de constante interés, sin embargo, debido a las marcadas diferencias entre las cadenas de abastecimiento frutícolas y cadenas normalmente estudiadas, es necesario realizar un reconocimiento de los problemas propios de este sector, producto de las presiones y necesidad que se encuentran inmersas en él, entre las cuales se puede encontrar planteamientos como el de (Borodin, Bourtembourg, Hnaïen & Labadie, 2016) quienes describen que las problemáticas de las cadenas de abastecimiento agrícolas están sujetas a la, i) necesidad de sostenibilidad, es decir, poder satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de lograr sus propios fines, y ii) proporcionar recursos alimentarios, energéticos e industriales para satisfacer la demanda de una población creciente. Asociado a estas necesidades ya nombradas se encuentra un conjunto de problemas que puede ser definido como la planeación deficiente en las cadenas, lo cual no permite prever sus necesidades futuras y con esto, la inexistencia de planes que impulsen el desempeño general de ésta. (Borodin et al., 2016) comentan que una eficiente coordinación requiere la gestión de las actividades desde el nivel estratégico hasta el operativo, con lo cual, no es sorprendente que uno de los temas más abordados y discutidos en el sector agrícola se centra en los problemas de planeación.

Las dificultades en la planeación, son generadas muchas veces por el escaso interés de algunos agentes de la cadena en realizar planes con miras a la integración de la cadena que permita alcanzar resultados globalmente mejores. Otro aspecto relevante son aquellas problemáticas relacionadas con la eficiencia en las cadenas de suministro, la cual ha sido identificada como una de las cuatro categorías de desempeño en las cadenas agroalimentarias: eficiencia, flexibilidad, capacidad de respuesta y calidad de los alimentos (Aramyan, Lansink, Van der Vorst & Van Kooten 2007). La eficiencia representa una preocupación constante puesto que está ligada a problemáticas como la desigualdad en la distribución de ingresos, niveles no deseados de inventario, altos costos de producción, bajos niveles de utilidad, reducción de los niveles de pobreza (especialmente es países en desarrollo), que representan problemas típicos en las cadenas, que en el caso frutícola son además conocidos por sus implicaciones socioeconómicas, como en el caso y que también puede ser generado por la planeación deficiente de la cadena.

En las dificultades de planeación de la cadena e ineficiencia, se encuentra el desempeño económico de los agentes que la conforman, el cual es reconocido como un aspecto crítico en el futuro de la cadena, dado que condiciona el nivel de ingresos y bienestar de los productores, el desarrollo tecnológico de estos, así como su capacidad competitiva.

La rentabilidad de los agentes de la cadena de abastecimiento frutícola es reconocida por tener un alto grado de disparidad entre los agentes aguas arriba y aguas abajo de la cadena de suministro, un aspecto contraproducente existente en muchas cadenas de abastecimiento actuales, se estima que en regiones de Argentina y España los bajos ingresos de los productores representan pérdidas de cerca del 29% de los costos de producción, y en el caso argentino estos sólo reciben el 9% del valor final del producto (Río Negro, s. f.; Cadena Ser, 2018). (Lambert & Cooper, 2000) describen que uno de los paradigmas más significativos de la gestión empresarial moderna es que las empresas ya no compiten como entidades exclusivamente autónomas, sino como cadenas de suministro, esto conlleva a que empresas miembro de la cadena de suministro tomen decisiones con el propósito de cumplir sus objetivos individuales, incluso si estas generan efectos negativos en los demás miembros de la cadena y en el desempeño global de esta, lo cual es altamente representativo en algunas cadenas de abastecimiento, donde la diferencia de poder de negociación de los miembros que la componen es alta y pone de manifiesto que la falta de coordinación repercute en varias categorías de desempeño de la cadena. La relación entre los bajos niveles de utilidad y la falta de coordinación, ha sido mencionada por autores como (Hau Lee, 2000, citado por Arshinder, Kanda & Deshmukh, 2008) quienes proponen la coordinación de la cadena de abastecimiento como un vehículo para rediseñar la toma de decisiones correcta y el apropiado manejo de los recursos entre los miembros de la cadena para mejorar el desempeño, así como mayores márgenes de utilidad, mejor servicio al cliente y tiempo de respuesta más rápido.

(Zhou & Yang, 2008) menciona que una cadena de suministro está coordinada si las decisiones tomadas por todos los agentes maximizan la utilidad total de la cadena, indicando que los beneficios obtenidos por la coordinación pueden ser medidos mediante los niveles de utilidad alcanzados, lo cual corrobora su relación y permite comprender la falta de coordinación como una de las mayores causas de los bajos niveles de utilidad en la cadena.

En torno a los bajos niveles de utilidad y falta de coordinación se encuentran dos variables mediante las cuales es posible comprender más a fondo la problemática, estas son, las cantidades de compra y precios. Suponer una relación entre éstas dos implica asumir un comportamiento de demanda sensible al precio, esto supone que los precios pueden influir en la demanda de un producto, lo cual en el sector frutícola es un aspecto que puede ser corroborado observando los datos de elasticidad precio demanda (EPD) de las frutas en Colombia, este valor mide el cambio porcentual en la demanda frente a los cambios porcentuales del precio, una EPD de 1 significa que la demanda aumenta un 1% cuando el precio disminuye un 1%, de manera análoga, una EPD de -2 significa que la demanda disminuye un 2% cuando el precio aumenta un 1%, para esto, (Combariza, 2013), mencionan que la EPD promedio de estos productos oscilaba alrededor de 1.3, para la población de bajos ingresos tenían una EPD de 1.8 y en la población de ingresos más altos llegaba a 0.6, esto indica que el precio tiene una relación directa con la cantidad de

productos vendidos, que también corrobora la incidencia de estas dos variables en el problema de desempeño económico de la cadena.

Con base en el conocimiento de los beneficios resultantes de aumentar los niveles de utilidad en la cadena de suministro, un espacio para la investigación de los mecanismos que logren aumentar el desempeño global de la CS queda abierto. Consecuentemente, la obtención de mayores niveles de desempeño mediante la modificación de variables implícitas en las relaciones contractuales producto de la dinámica de la cadena sin alterar su estructura, permite que surja la siguiente pregunta de investigación.

¿Cómo se afecta el desempeño económico de una cadena de abastecimiento frutícola y el de sus miembros con la utilización de un contrato de ingresos compartidos?

3. JUSTIFICACIÓN

Según el (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006) existe un reconocimiento explícito de que el productor agrícola cumple una función esencial en la cadena de valor, lo que hace que éste sea objeto de una especial atención y hace necesario la existencia de fondos especiales que financien diferentes componentes y logren impulsar el desempeño de la cadena. Otro punto de vista puede ser observado a partir de las indicaciones de la FAO, para quienes esta problemática está ligada a los asuntos de seguridad alimentaria en el mundo. (FAO, 2015) describe que el crecimiento económico es un factor clave del éxito en la reducción de la subalimentación, pero tiene que ser inclusivo y ofrecer oportunidades para mejorar los medios de vida de la población pobre. El aumento de la productividad y los ingresos de los pequeños agricultores familiares es fundamental para lograr progresos. Estos planteamientos indican que, observado desde distintos puntos de vista, el desempeño de los niveles de utilidad alcanzados son un aspecto de importancia e interés en el sector frutícola, el cual amenaza con afectar no sólo el desempeño a nivel individual sino también a nivel global en la cadena, llegando a tener implicaciones en la economía nacional en aquellos países donde la agricultura es un pilar de desarrollo, como lo es el caso colombiano.

Varias fuentes evidencian las problemáticas asociadas a los bajos niveles de desempeño económico de la cadena frutícola. (Cervantes-Godoy & Dewbre, 2010) comentan que la agricultura contribuye en un 52% a la reducción de la pobreza, además estos autores enfatizan la correlación entre las tasas de reducción de la pobreza en los últimos 40 años y el desempeño del sector agrícola. Los anteriores autores consideran que los vínculos entre la agricultura y la reducción de la pobreza se forjan a través de cuatro "mecanismos de transmisión": 1) impacto directo en la mejora del desempeño agrícola en los ingresos rurales; 2) el impacto en la oferta de alimentos más baratos para los pobres tanto urbanos como rurales; 3) la contribución de la agricultura al crecimiento y la generación de oportunidades económicas en el sector no agrícola; y 4) el papel fundamental de la agricultura en estimular y sostener la transición económica, a medida que los países (y los medios de subsistencia de los pobres) se alejan de ser principalmente agrícolas hacia una base más amplia de manufacturas y servicios. Subrayan que el potencial de reducción de la pobreza en el futuro a través de estos mecanismos de transmisión depende del grado en que la productividad agrícola pueda incrementarse donde más se necesita.

Las maneras de alcanzar mayores niveles de desempeño son variadas y ninguno de los métodos existentes ha demostrado ser una panacea para esta problemática, algunos instrumentos para lograr mejores escenarios de desempeño económico en la cadena frutícola han sido los subsidios directos e indirectos del gobierno, mecanismos de soporte al precio y programas de promoción a la exportación, sin embargo, a pesar de que en la literatura se ha demostrado la capacidad de los mecanismos de coordinación para aumentar los niveles de utilidad alcanzados por

toda la cadena (Zhang, J., Liu, Zhang, Q., & Bai, 2015; Van der Rhee et al., 2010; Arshinder et al., 2008), este tipo de mecanismos no han sido propuestos en el escenario de las cadenas de suministro frutícola. Debido a esto, se considera apropiado la propuesta de un contrato de ingresos compartidos como mecanismo de coordinación de la cadena de suministro frutícola con la finalidad de determinar si es posible o no alcanzar mayores niveles de utilidad en la cadena haciendo uso de los modelos y metodologías presentes en la literatura que han alcanzado buenos resultados en otras industrias, como el caso de la industria de renta cinematográfica en Estados Unidos.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Proponer un contrato de ingresos compartidos como mecanismo de coordinación para una cadena de suministro frutícola con el propósito de determinar su efecto en los niveles de utilidad alcanzados.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una caracterización de la cadena de suministro frutícola en función de las relaciones contractuales y parámetros comerciales.
- Formular un modelo de contrato de ingresos compartidos con las características de la cadena de suministro frutícola.
- Validar el modelo mediante un caso de estudio.
- Realizar un análisis de sensibilidad de los resultados.

5. METODOLOGÍA

El presente capítulo expone la metodología utilizada para la realización de la propuesta de contrato de ingresos compartidos como mecanismo de coordinación de la cadena de suministro frutícola.

En la primera fase del proyecto se abordan los antecedentes teóricos y bases conceptuales necesarias para el estudio de los contratos de ingresos compartidos como mecanismos de coordinación, se incluyen los temas relevante a las relaciones colaborativas en las cadenas de suministro, las maneras de alcanzar la coordinación, se presenta un modelo contrato de ingresos compartidos general y temas relacionados con su modelamiento, tales como, el problema del vendedor de periódicos y una corta revisión de conceptos de teoría de juegos referentes a la modelación de contratos, por último, se incluye un marco normativo el cual señala las regulaciones en el país respecto a estos acuerdos contractuales.

El primer objetivo del proyecto implica la caracterización de la cadena de suministro frutícola objeto de estudio, se procede a identificar los diferentes miembros que componen la cadena, las formas cómo las negociaciones son realizadas entre los diferentes eslabones y las estimaciones de las variables del mercado como demanda y precios. Para realizar estas actividades se recurre al uso de encuestas con los agentes involucrados en la cadena de suministro y revisión de información de otras entidades.

El desarrollo del segundo objetivo tiene como finalidad formular un modelo de contrato de ingresos compartidos con los parámetros obtenidos en la caracterización de la cadena. En este, se plantea un modelo matemático del contrato partiendo de un referente teórico. Se modelan los escenarios centralizados y descentralizados, y se presentan las ecuaciones bajo las cuales la cadena de suministro alcanza la coordinación. El modelo se resuelve de manera analítica con apoyo de un sistema algebraico computacional.

El cumplimiento del tercer objetivo implica la validación del modelo de contrato mediante un caso de estudio llevado a cabo en la cadena de suministro caracterizada en la segunda parte del proyecto. Los parámetros obtenidos en la sección ya mencionada, sirven como datos de entrada para un posterior ejemplo numérico, donde se determina si en efecto, el contrato tiene la capacidad de mejorar los niveles de desempeño y alcanzar el estado gana-gana en los diferentes miembros de la cadena.

Finalmente, en el cuarto objetivo se realiza un análisis de sensibilidad más exhaustivo sobre los valores de las funciones de desempeño y variables, se analiza cómo se ven afectados estos valores al realizar variaciones en los diferentes parámetros, particularmente, la demanda y precios. Se hace uso de representaciones matemáticas y demostraciones gráficas de estos análisis. Con

esta información, se presentan las conclusiones sobre el efecto del contrato de ingresos compartidos en la cadena de suministro frutícola, y finalmente, se identifican los posibles trabajos de investigación que pueden surgir a partir de estos resultados.

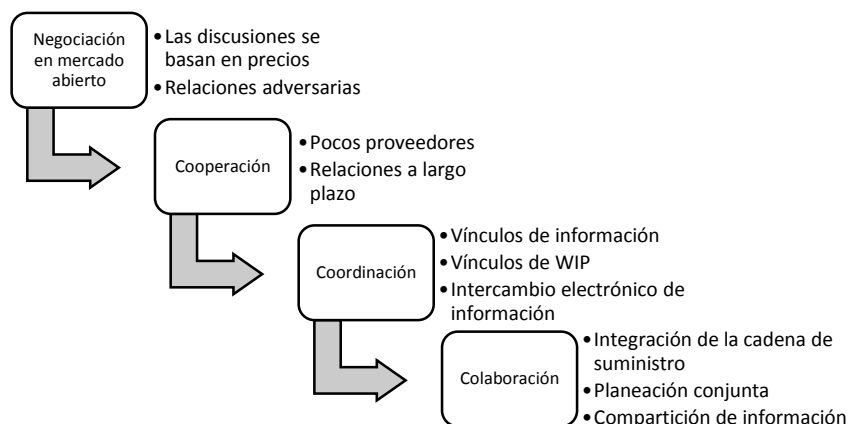
6. MARCO TEÓRICO

6.1 RELACIONES COLABORATIVAS EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Las cadenas de suministro comprenden diversas actividades inter organizacionales que por su naturaleza transversal dificulta la visibilidad de información y toma de decisiones; a través de los años, los procesos aislados de toma de decisiones en las organizaciones han demostrado las consecuencias que puede traer en las demás empresas que conforman la cadena de suministro, como lo mencionan (Min & Zhou, 2002), una gran cantidad de empresas se ha dado cuenta de la importancia del diseño, planeación y control de la cadena de suministro como un todo, en este sentido, les permite a las empresas capturar la sinergia de la colaboración y consecuentemente, tomar decisiones más acertadas en la cadena de suministro. Las relaciones colaborativas presentan entonces una oportunidad para alcanzar mayores resultados y aumentar la eficiencia de las operaciones de las empresas que conforman la cadena de suministro, (Gunasekaran, Subramanian & Rahman, 2015) definen la colaboración en la cadena de suministro como “una relación entre los socios de la cadena de suministro que se desarrolla durante un período de tiempo para lograr un menor costo, una mayor calidad y una mayor innovación de productos, reducir los riesgos y mejorar el valor de mercado”, esta definición resulta útil ya que subraya el trabajo conjunto y los posibles resultados, sin embargo, las definiciones de colaboración pueden ser tan variadas como la cantidad de material referente al tema.

La colaboración se puede presentar en áreas funcionales específicas o en diferentes grados de integración de las organizaciones que la conforman. (Spekman, Kamauff & Myhr, 1998) se refieren a un proceso de transición de negociación en mercado abierto – cooperación – coordinación – colaboración (ver Ilustración 1).

Ilustración 1. Proceso de transición de las relaciones colaborativas



Fuente: Spekman et al., (2008)

Cada una de estas etapas define las características de vinculación entre las empresas que conforman la cadena de suministros y se identifican los elementos diferenciadores. En la primera etapa, las negociaciones a mercado abierto son todas aquellas donde las relaciones entre el comprador y el vendedor se rigen netamente por las condiciones del mercado y no existe un trato diferenciado por ninguna de las partes. (Spekman et al., 1998) comenta que durante la etapa de cooperación se presentan pequeños intercambios de información, y contratos a largo plazo son establecidos entre las dos partes, este proceso representa la antesala de relaciones cooperativas óptimas que logran un alto grado de injerencia en los resultados alcanzados por la cadena y las organizaciones que la componen, sin embargo, es un punto de inicio, mas no suficiente. La etapa de coordinación implica una mayor intensidad en el intercambio de información, donde los principales elementos de información compartida hacen referencia al conocimiento del inventario en proceso de una empresa por parte de la otra, esto implica el uso de sistemas electrónicos de intercambio de datos. La última etapa se refiere a la colaboración, la cual supone relaciones inter organizacionales sólidas, compartir información sobre planes estratégicos, diseño de productos e investigación y desarrollo, entre otros. Las relaciones se basan en la honestidad de las organizaciones involucradas en los planes de colaboración, esta fase dista de la cooperación y coordinación en el sentido que las relaciones no se basan estrictamente en el intercambio de productos y actividades de soporte, sino en la planeación conjunta y comprensión de las compañías participantes en la cadena como socios estratégicos. Por último, tal como lo manifiestan (Spekman et al., 1988), la existencia de actividades cooperativas y coordinadas no supone la existencia de una colaboración plena.

6.2 COORDINACIÓN EN LAS CADENAS DE SUMINISTRO

Las dinámicas del mercado actuales caracterizadas por la globalización, apertura de mercados y mayor competencia, sugieren que las empresas deben establecer sus planes estratégicos más allá de las barreras internas, y en lugar de planear como entidades aisladas, estos planes deben tener en cuenta las demás compañías y organizaciones involucradas en su cadena de suministro. La coordinación de la cadena de suministro se plantea no sólo como una estrategia para alcanzar resultados globalmente más eficientes, sino como una necesidad actual de las empresas para garantizar su continuidad. (Ramdas & Spekman, 2000) comentan que la falta de coordinación puede resultar en un desempeño inadecuado de cadena de suministro. Entre las consecuencias de la falta de coordinación se puede encontrar: pronósticos inexactos, baja utilización de la capacidad, inventario excesivo, servicio al cliente inadecuado, baja rotación de inventario, altos costos de inventario, mala calidad, y precario servicio al cliente.

La coordinación es un concepto interdisciplinario, (Pawlewski, 2015) sostiene que el término está presente en diversos sistemas, como, por ejemplo: social, abierto, dinámico, distribuido, analítico, biológico, etc. Además, está basado en numerosos

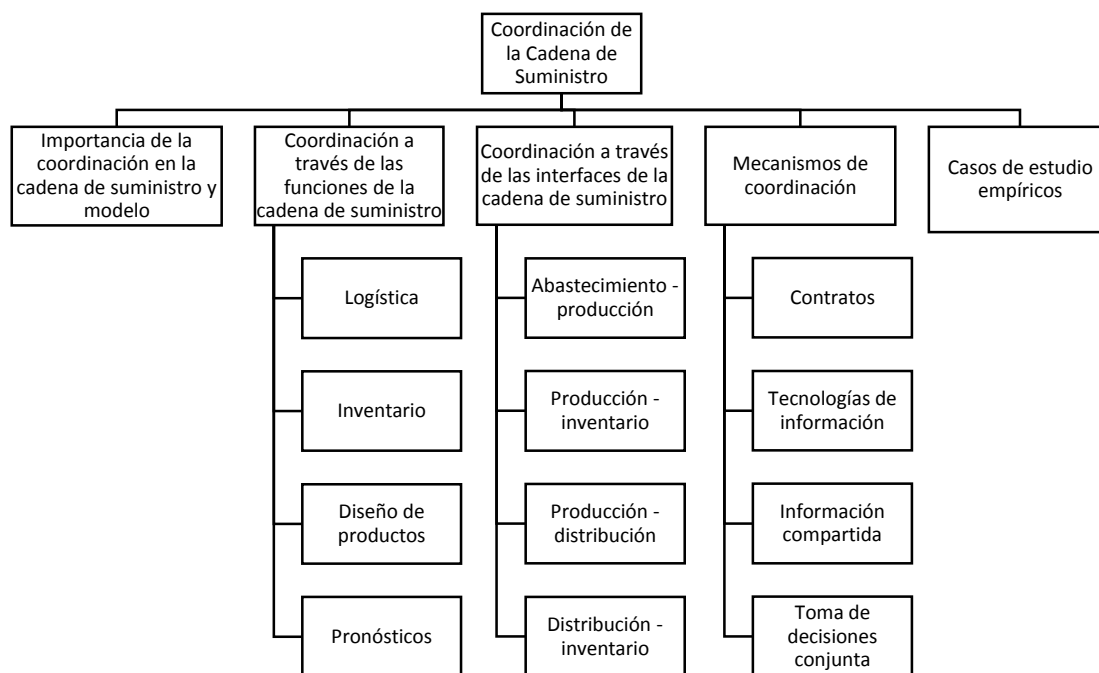
campos de investigación, es decir, teoría organizacional, ciencias de gestión, psicología, informática y teoría de juegos. Partiendo de una consideración multidisciplinar, el autor menciona que la coordinación es un trabajo conjunto entre sujetos, que (1) está dirigida a lograr objetivos mutuos, (2) consiste en sistematizar, ordenar y coordinar procesos y varios componentes del sistema, (3) procede en un período de tiempo establecido, (4) afecta el comportamiento de los sujetos cooperantes.

El estudio de la coordinación en las cadenas de suministro viene dado por un conjunto de motivaciones que prometen mejorar el desempeño y aliviar tensiones que resultan en los ambientes no cooperativos, entre estos se encuentran (Breiter, Hegmanns, Hellingrath & Spinler, 2009):

- La solución simultanea de diversos problemas, que de otro modo se investigan aislada y parcialmente, ampliando así, el espacio de solución del problema general.
- Los conflictos de objetivos entre empresas pueden resolverse en un proceso inter empresarial.
- Los supuestos sobre la disponibilidad de recursos y capacidad pueden ser reemplazados por datos reales a través de múltiples etapas.
- Los reguladores no óptimos que se encuentran en las interfaces de la cadena de suministro pueden ser eliminados

La coordinación de cadenas de abastecimiento puede ser descrita como la sincronización de ejecución de actividades de la cadena de manera conjunta entre los eslabones con el fin mejorar el desempeño global de esta, la relevancia de la coordinación de las cadenas de suministro no puede ser un tema de menor trascendencia que otras actividades en la planeación de la cadena, (Xu & Beamon, 2006) comentan que la gestión de la cadena de suministro (GCS) se define comúnmente sobre la base de la coordinación: "La gestión de la cadena de suministro se ocupa de la planificación y coordinación de las actividades de licitación, producción y adquisición a través de las múltiples organizaciones involucradas en la entrega de uno o más productos". Sin embargo, existen cuantiosas definiciones en la literatura, generalmente, cada perspectiva depende de los intereses de la persona o entidad que analiza estas relaciones. (Arshinder et al., 2008) plantean una clasificación esquemática para la comprensión holística de la coordinación de cadenas de suministro (CCS), este planteamiento permite comprender la CCS desde las diferentes perspectivas mediante las cuales ha sido abordada, esta clasificación esquemática es útil para comprender la CCS de manera holística considerando las diferentes aristas que la conforman.

Ilustración 2. Clasificación esquemática de la coordinación de la cadena de suministro



Fuente: (Arshinder et al., 2008)

La CCS parte de la necesidad de los miembros de la cadena de suministro de comportarse como un sistema unificado y coordinarse entre sí con el fin de mejorar el desempeño global de la CS (Arshinder et al., 2008), es preciso mencionar que a pesar del evidente interés académico y de personas del sector real, el problema ha sido abordado desde diversos puntos de vista que comprende: coordinación a través de las áreas funcionales, a través de las interfaces de la cadena y coordinación holística.

La coordinación a través de áreas funcionales es aquella que se realiza entre diferentes funciones de la cadena de suministro que puede incluir, aprovisionamiento, pronóstico, control de inventarios, diseño de productos y transporte. Decisiones en torno a las políticas de inventario y diseño de productos se caracterizan por la alta dependencia de la información de miembros aguas abajo en la cadena, esto motiva a las empresas a realizar planes de gestión colaborativa, además, el auge tecnológico ha facilitado la sincronización de información. Algunos ejemplos de la coordinación entre áreas funcionales son: compartición de información de costos y precios, sincronización del tiempo de procesamiento de órdenes e inventario administrado por el vendedor.

La comprensión de la cadena de suministro como un conjunto secuencial de actividades que van desde el aprovisionamiento hasta la distribución de los productos, permite comprender las relaciones colaborativas que se han forjado entre las denominadas interfaces de la cadena. Tal como lo menciona (Arshinder et al., 2008), las principales interfaces de la cadena donde la coordinación es importante para alcanzar una mayor eficiencia en las operaciones son: aprovisionamiento – producción, producción – inventarios, producción – distribución y distribución – inventario. Estos autores comentan que para el caso producción – distribución, las diferencias en las métricas de desempeño son un causante de los conflictos surgidos en estas áreas, el mejoramiento de la calidad es un factor determinante para el área de producción, sin embargo, la reducción de los costos y el aumento de los niveles de servicio son más preponderantes para los encargados de distribución e inventarios, a pesar de esto, el potencial mejoramiento del desempeño de estas áreas logrado a través de la implementación de mecanismos de coordinación lo hace particularmente llamativo a pesar de las fricciones que pueden surgir, ya que la integración de estas dos funciones puede conducir a un ahorro sustancial en los costos globales y a una mejora del servicio pertinente mediante la explotación de las economías de escala de producción y transporte, equilibrando los lotes de producción y las cargas del vehículo, y reduciendo el inventario total y la disponibilidad.

6.3 MECANISMOS DE COORDINACIÓN

La ilustración 2 señala que el estudio de la CCS es un tema amplio, para cumplir con los intereses del trabajo, se hace énfasis en la explicación de los mecanismos de coordinación, especialmente en los contratos de suministro. La coordinación de la cadena de suministro puede ser alcanzada por distintos medios que parten de distintos enfoques, todos esos comparten el punto de partida de un interés mutuo por el mejoramiento de los resultados conjuntos. Los contratos de abastecimiento se basan en el riesgo compartido e incentivos económicos. Las tecnologías de información e intercambio de información y datos se basan en sistemas tecnológicos instaurados en algunos puntos clave de las actividades de la cadena. La toma de decisiones conjunta implica una mayor adhesión de carácter estratégico, se puede decir que este mecanismo es el que se aproxima más al direccionamiento de una cadena de suministro integrada por sus características de planeación.

6.3.1 Tecnologías de información

La tecnología de información (TI) ayuda a vincular el punto de producción sin problemas con el punto de entrega o compra. Permite planificar, rastrear y estimar los plazos de entrega basados en los datos en tiempo real. Los avances en TI (por ejemplo, Internet, EDI (intercambio electrónico de datos), ERP (planificación de recursos empresariales), e-business y muchos más) permiten a las empresas intercambiar rápidamente productos, información y fondos y utilizar métodos

colaborativos para optimizar las operaciones de la cadena de suministro. (Arshinder et al., 2008).

A pesar de su enorme potencial, la inversión en TI en los procesos de la cadena de suministro no garantiza un mayor desempeño. El debate sobre la paradoja de la "productividad de la TI" y otras pruebas anecdóticas sugiere que el impacto de la TI en el desempeño de la empresa sigue siendo poco claro (Xu & Zhang., 2016). Los buenos resultados de la implementación de TI en la cadena de suministro distan de ser un proceso fácilmente replicable de una CS a otra, en lugar de esto, cada proceso de implementación de TI en una CS deberá tener en cuenta los aspectos propios de estas, como, estructura de la cadena, patrón de toma de decisiones, TI existente en las entidades que conforman la cadena, acceso a tecnología, entre otros.

6.3.2 Intercambio de información y datos

Mediante el intercambio de información apropiada entre los productores y detallistas y la coordinación de las actividades de reposición y producción es posible reducir los costos y mejorar los niveles de servicio. Es un componente importante en la coordinación de la cadena de suministro que puede ser categorizado de acuerdo al área: inventarios, ventas, pronóstico de demanda, estado de las órdenes y planes de producción (Kumar & Pugazhendhi, 2012).

6.3.3 Toma de decisiones conjunta

La toma de decisiones conjunta es conocida por su capacidad de ayudar a resolver los conflictos entre los miembros de la cadena de suministro y en el manejo de excepciones en caso de cualquier incertidumbre futura (Arshinder et al., 2008). A fin de lograr una coordinación exitosa de la cadena de suministro, los miembros no sólo deben estar dispuestos a coordinar sus actividades y convenir en una forma adecuada de redistribuir sus beneficios, sino también compartir su información para reducir la incertidumbre y facilitar las operaciones en la cadena de suministro. Dado que la coordinación de la cadena de suministro se ha complejizado debido a un entorno empresarial más dinámico y una competencia más intensa, el intercambio de información está recibiendo más atención como parte esencial de la práctica empresarial (Huang, Li & Ho, 2016).

6.3.4 Contratos de suministro

Los contratos de abastecimiento son uno de los mecanismos más populares en la coordinación de la cadena de suministro, básicamente, dos o más entidades de la cadena acuerdan compartir el riesgo a cambio de un conjunto de incentivos con la finalidad de obtener beneficios que no podrían ser alcanzados sin el contrato. Generalmente, los acuerdos se basan en variables como precios, descuentos, cantidades de compra, plazos de entrega, calidad del producto y políticas de

devolución. La investigación teórica sobre la adopción de contratos se ha centrado principalmente en mejorar el desempeño operacional y maximizar los beneficios del SC. Además, varias razones motivan la adopción de contratos en el área de cooperación mutua ya que los contratos alivian el conflicto de las partes en las relaciones transaccionales (Sluis & De Giovanni, 2016). A continuación, se describen algunos de los contratos más utilizados.

Contrato de ingresos compartidos: supóngase una cadena de suministro conformada por dos eslabones en la cual el eslabón 2 es el productor y el eslabón 1 es el minorista; bajo este contrato, el productor ofrece un precio preferencial al minorista y este último, retribuye un porcentaje de sus ingresos al productor, de esta manera, el riesgo es distribuido entre los dos eslabones y se genera un incentivo para realizar tal contrato. El precio al por mayor y el coeficiente de distribución de ingresos son las variables del problema.

Contrato de precio mayorista: en un contrato de precio mayorista (WPC, del inglés *wholesale price contract*), el fabricante establece un precio de venta de acuerdo a la cantidad de pedido del minorista. Aunque el WPC se utiliza en muchas cadenas de suministro debido a su simplicidad, no puede coordinar la cadena de suministro ya que resulta en un problema de doble marginación (Sluis y De Giovanni, 2016). En este contrato, todo el riesgo es asumido por el minorista (Chakraborty, Chauhan & Vidyarthi, 2015), por lo tanto, resulta poco atractivo para este.

Contrato de descuento por cantidad: el contrato de descuentos por cantidad especifica la disminución del precio al por mayor a medida que la cantidad de pedido aumenta. Se ha demostrado que los descuentos por cantidad pueden conciliar los conflictos de beneficios dentro de la cadena de suministro en la toma de decisiones sobre el nivel de inventario (Huang, Choi, Ching, Siu, & Huang, 2011). Es un contrato muy utilizado en la práctica y ha demostrado ser capaz de coordinar la cadena de suministro de diferentes características.

Contrato de cantidad flexible: este contrato combina el compromiso del minorista de comprar no menos de un cierto porcentaje por debajo del pronóstico (un acuerdo de compra mínimo) con la garantía del productor para entregar hasta un cierto porcentaje por encima. También hay un único precio de adquisición o "transferencia" que se cobrará por unidad de producto entregado (Tsay, 1999). A medida que transcurre el tiempo, el comprador puede aumentar las cantidades de pedido para períodos futuros basándose en la información actualizada de la previsión de la demanda y el estado del inventario. (Lian & Deshmukh, 2009).

Contrato de recompra: el contrato de recompra o retornos significa que el "vendedor" comprará el producto del "comprador" con a un precio de salvamento (que puede ser parcial o total). Esta recompra puede ocurrir durante el final de la temporada (por sobras) o en cualquier momento (por ejemplo, el consumidor

regresa bajo el esquema de garantía de devolución de dinero) (Guo, Shen, Choi & Jung, 2017).

Contrato de reembolso de ventas: un reembolso es un pago de un fabricante a un minorista basado en las ventas minoristas a los consumidores finales (Taylor, 2002). El contrato de reembolso de ventas es un contrato de la familia de contratos de recompra y retornos, sin embargo, este contrato es más eficiente que un descuento por cantidad de pedidos ya que proporciona un incentivo directo para que los minoristas aumenten las ventas (Wong, Qi & Leung, 2009).

6.4 CONTRATO DE INGRESOS COMPARTIDOS

Los títulos anteriores presentaron una introducción a las relaciones colaborativas y algunos de los mecanismos de coordinación más comunes en la práctica e investigación, a pesar de esto, se ha abordado desde un nivel abstracto. El presente numeral expone con mayor detalle el mecanismo de coordinación abordado en el trabajo, se expone la dinámica de su funcionamiento regular, el modelo subyacente al contrato y algunas consideraciones que se deben tener en cuenta durante el diseño de este tipo de contratos.

El contrato de ingresos compartidos es el contrato que ha recibido más atención en la familia de estos mecanismos de coordinación (Palsule-Desai, 2013), es especialmente útil ya que puede aliviar los problemas de exceso y escasez de inventario y problemas de doble marginalización. El contrato se basa en la existencia de una relación contractual en la cual el minorista paga al productor un porcentaje de sus ingresos a cambio de un precio al por mayor generalmente más bajo que aquel que se obtendría sin el contrato, el porcentaje de ingresos compartidos que de ahora en adelante denominará coeficiente de ingresos compartidos y el precio al por mayor son las principales variables involucradas en el modelo.

6.4.1 Problema del vendedor de periódicos en el contrato de ingresos compartidos

Antes de explicar el funcionamiento del contrato de ingresos compartidos es necesario plantear el problema del vendedor de periódicos ya que este es el modelo subyacente a la mayoría de este tipo de contratos.

Este problema es un modelo de control de inventarios de periodo único donde la entidad enfrenta el problema de un vendedor de periódicos: debe determinar la cantidad a producir o comprar antes del momento de hacerse efectiva la venta, no puede realizar reabastecimiento una vez seleccionada la cantidad a ordenar Q , cada unidad faltante es penalizada con un costo de oportunidad y cada unidad excedente puede ser vendida a un valor de salvamento, además, la demanda es aleatoria.

Notación

p_o = precio de compra

p_s = precio de venta

p_g = costo de oportunidad de venta perdida

p_r = valor de salvamento

D = variable continua aleatoria de la demanda

$f(x)$ = función de densidad de probabilidad

$F(x)$ = función de probabilidad acumulada

Q^* = cantidad óptima de pedido

La utilidad esperada para el vendedor de periódicos está dada por:

$$P(Q) = p_s * E(\min\{D, Q\}) - p_o Q + p_r E[(Q - D)_+] - p_g E[(D - Q)_+] \quad (1)$$

Bajo el supuesto de variable aleatoria continua, los anteriores términos pueden ser calculados de la siguiente manera:

$$E(\min\{D, Q\}) = \int_0^Q x f(x) dx + \int_Q^\infty Q f(x) dx \quad (2)$$

$$E[(Q - D)_+] = \int_0^Q (Q - x) f(x) dx \quad (3)$$

$$E[(D - Q)_+] = \int_Q^\infty (x - Q) f(x) dx \quad (4)$$

Se establece el límite inferior como 0 ya que la demanda no puede tomar un valor inferior a este. Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación de utilidad, se obtiene:

$$P(Q) = p_s * \left(\int_0^Q x f(x) dx + \int_Q^\infty Q f(x) dx \right) - p_o Q + p_r \int_0^Q (Q - x) f(x) dx - p_g \int_Q^\infty (x - Q) f(x) dx \quad (5)$$

La anterior ecuación es general para los contratos de ingresos compartidos, diversas variantes surgen a partir de él, para motivos de interés de la aplicación de este problema en el contrato de ingresos compartidos y por simplicidad, no se asume el costo de venta pérdida (Cachon, 2003). Otra variación frecuente en la determinación del costo de compra como $p_s - p_r$. (Koulamas, 2006), menciona la siguiente variante del problema para efectos de coordinación:

$$P(Q) = (p_s - p_r) * \left(\int_0^Q x f(x) dx + \int_Q^\infty Q f(x) dx \right) + p_r \int_0^Q (Q - x) f(x) dx \quad (6)$$

Mediante manipulación algebraica y sabiendo que:

$$\int_0^Q xf(x)dx = G(Q) \quad (7)$$

$$\int_0^Q f(x)dx = F(Q) \quad (8)$$

$$\int_Q^\infty f(x)dx = 1 - F(Q) \quad (9)$$

Se obtiene que la utilidad para el caso de los contratos, viene dada por:

$$P(Q) = p_s(G(Q) - QF(Q)) + Q(p_s - p_r) - p_oQ \quad (10)$$

La ecuación anterior es ampliamente utilizada en la modelación de contratos de suministro, la cual debe ser tenida en cuenta para la modelación de este tipo de mecanismos.

De la ecuación (5) se dice que es convexa en Q para cualquier función de densidad y función acumulada de probabilidad. Para determinar el valor óptimo de Q es necesario determinar la segunda derivada de P(Q) respecto a Q (Silver, Pyke & Douglas, 2017). Esta ecuación independiente del tipo de distribución de probabilidad.

$$Q^* = F^{-1} \left(\frac{p_s + p_g - p_o}{p_s + p_g - p_r} \right) \quad (11)$$

Una generalización de la ecuación, determinada a partir de análisis marginal para hallar la cantidad óptima Q es descrita por (Silver et al., 2017).

$$Q^* = F^{-1} \left(\frac{c_u}{c_u + c_o} \right) \quad (12)$$

Donde c_u implica todos aquellos costos asociados por una unidad de demanda no servida, c_o lo hace de manera análoga para las unidades sobrantes.

6.4.2 Funcionamiento del contrato de ingresos

El siguiente contrato de ingresos compartidos es explicado con base en el artículo de (Cachon y Lariviere, 2005).

Supóngase una cadena de suministro de dos eslabones, donde el eslabón 1 es un minorista y el eslabón 2 es un productor. En el contrato de ingresos compartidos, el minorista paga al productor un costo c por cada unidad comprada, además trasfiere un porcentaje de sus ingresos a este último. Supóngase que todos los ingresos son compartidos, es decir, los ingresos de recuperación también se comparten entre las

empresas. (También es posible diseñar la coordinación de los contratos de reparto de ingresos en los que sólo se comparten los ingresos ordinarios).

Se asume un precio de venta al por menor p , una cantidad q transferida del productor al minorista y un valor de recuperación v . Los ingresos totales del minorista están dados por $R(q, p) + v(d - q)_+$, donde $R(q, p)$ corresponde a los ingresos directamente atribuidos a la cantidad comprada q , el productor tiene un costo de producción $c_s q$, el minorista enfrenta un costo $c_r q$ el cual no incluye ningún pago al proveedor, se tiene que $c = c_s + c_r$.

Antes de que el minorista elija la cantidad q y el precio p , el productor y el minorista acuerdan un contrato de ingresos compartidos con dos parámetros. El primero es el precio al por mayor w , que paga el minorista por cada unidad, el segundo es ϕ , un porcentaje de los ingresos del minorista que compartirá al productor.

Las funciones de utilidad de cada uno de los actores y de la cadena de suministro viene dada por:

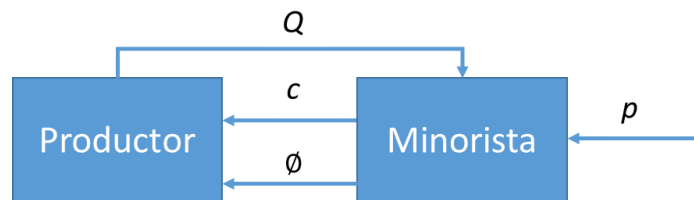
$$\prod_{m,} (q, p) = (1 - \phi)R(q, p) + (1 - \phi)(d - q)_+ v - (c_r + w)q \quad (13)$$

$$\prod_p (q, p) = \phi R(q, p) + \phi(d - q)_+ v - (c_s - w)q \quad (14)$$

$$\prod_{SC} (q, p) = \prod_m (q, p) + \prod_p (q, p) = R(q, p) + (d - q)_+ v - (c_r + c_s)q \quad (15)$$

El modelo anterior considera una sola oportunidad de decisión sobre q , y a su vez, tiene un valor de recuperación v , por lo tanto, es posible decir que se trata de un problema de vendedor de periódicos, la cantidad óptima de pedido puede ser obtenida por medio de las ecuaciones discutidas en el problema del vendedor del periódico, estos dos modelos sientan las bases para el desarrollo de los contratos de ingresos compartidos.

Ilustración 3. Estructura básica del contrato de ingresos compartidos



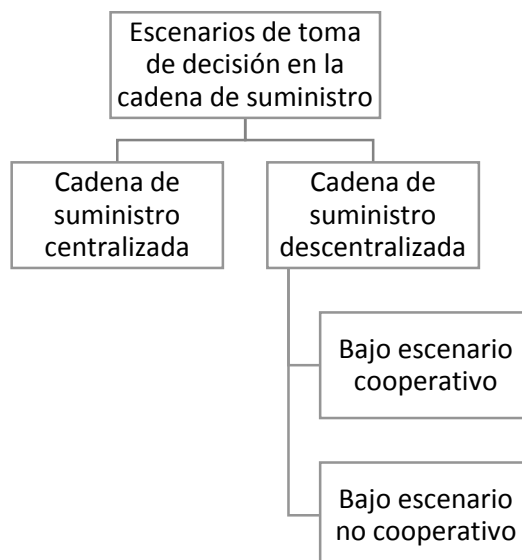
Fuente: Elaboración propia

Los contratos de ingresos compartidos pueden ser extendidos a casi cualquier tipo de cadena, por ejemplo, hay modelos para cadenas de suministro de tres o más eslabones, para modelar cadenas centralizadas y descentralizadas y escenarios cooperativos y no cooperativos.

6.4.3 Coordinación de la cadena de suministro con el contrato de ingresos compartidos

Primero, es necesario precisar qué significa que una cadena de suministro esté coordinada. Las cadenas de suministro se dividen en dos grupos de acuerdo al patrón de toma de decisiones: cadenas centralizada y cadenas descentralizada, la cadena centralizada es aquella donde un solo ente coordina todas las operaciones de la cadena y busca la maximización del desempeño global de esta, por definición, una cadena centralizada alcanza el nivel óptimo de utilidad, bajo condiciones normales, en este tipo de cadena no existen problemas por conflicto de intereses ni de doble marginalización ya que todos los actores se dirigen hacia un mismo objetivo; por otro lado, la cadena descentralizada opera bajo un escenario de mercado con entidades que persiguen objetivos individuales y por ende, maximizan indicadores de desempeño locales aunque esto genere resultados contraproducentes en el desempeño global, en este escenario, a su vez, con base en la literatura de contratos de suministro, es posible argumentar que las cadena de suministro descentralizadas se dividen en dos tipos de acuerdo al patrón de analogía en la dirección de las decisiones: cooperativo y no cooperativo.

Ilustración 4. Clasificación de la coordinación de la cadena de suministro de acuerdo al escenario de toma de decisiones



Fuente: Elaboración propia

Supóngase una cadena de suministro similar a la aquella de la Ilustración 3, defínase el término $R(q, p) = p * \min(D, Q)$, donde $D = \text{valor de la demanda}$ y $Q = \text{cantidad de orden}$, el productor vende cada unidad a un valor w , el productor y el minorista enfrentan costos de producción y procesamiento por cada unidad comprada c_p y c_m respectivamente. El superíndice c denota el escenario centralizado.

Bajo el escenario descentralizado, las utilidades del minorista, productor y total, respectivamente son:

$$\prod_m^c = p \text{Min}(D, Q) + (Q - D)_+ v - Q(w + c_m) \quad (16)$$

$$\prod_p^c = Q(w - c_p) \quad (17)$$

$$\prod_{sc}^c = p \text{Min}(D, Q) + v(Q - D)_+ v - (c_p + c_m)Q \quad (18)$$

Claramente, una empresa centralizada actuará de tal manera que la utilidad a optimizar será la de la ecuación (18) ya que esta estructura de la cadena hace que los esfuerzos se dirijan a un conjunto de objetivos en común y no genera problemas de doble marginalización, los niveles óptimos de la cadena están asociados a este escenario.

Supóngase que se establece un contrato de ingresos compartidos con coeficiente de distribución de ingresos ϕ , donde los ingresos por venta y recuperación son compartidos, el escenario descentralizado bajo el contrato corresponde a las siguientes funciones de utilidad para el minorista, productor y total de la cadena respectivamente.

$$\prod_m^c = (1 - \phi)p \text{Min}(D, Q) + (1 - \phi)(Q - D)_+ v - (w + c_m)Q \quad (19)$$

$$\prod_p^c = \phi p \text{Min}(D, Q) + \phi(Q - D)_+ v + (w - c_p)Q \quad (20)$$

$$\prod_{sc}^c = \phi \text{Min}(D, Q) + (Q - D)_+ v - (c_p + c_m)Q \quad (21)$$

La coordinación de la cadena de suministro se habrá logrado si el nivel de utilidad de la cadena descentralizada es igual al del escenario centralizado, es decir, si

alcanza los niveles óptimos. Para alcanzar este escenario es necesario variar los valores de \emptyset y w bajo algunas consideraciones lógicas como $0 \leq \emptyset \leq 1$, $w > c_m$ y cumplir una restricción gana-gana que indica que los integrantes sólo aceptarán el contrato si la utilidad de cada uno es mayor a la obtenida sin el contrato.

6.5 TEORÍA DE JUEGOS

La teoría de juegos puede ser definida como el área de las matemáticas encargada de estudiar los conflictos y la cooperación entre agentes. El estudio de la teoría de juegos provee técnicas matemáticas para analizar situaciones en las cuales, el comportamiento de uno o más de los agentes, repercute en el estado de otros agentes, estos agentes pueden ser individuos, grupos o corporaciones (Turocy & Von Stengel, 2001; Myerson, 2013).

La teoría de juegos ha sido estudiada principalmente en las ciencias sociales, sin embargo, como lo menciona (Leyton-Brown & Shoham, 2008), el interés de la aplicabilidad de esta área se ha expandido a disciplinas como las ciencias políticas, biología, psicología, economía, lingüística, sociología y ciencias computacionales, entre otros. Las cadenas de suministro, como un sistema donde diferentes agentes interactúan, en muchas ocasiones involucrando decisiones donde existe un explícito conflicto de intereses, no es ajena a la injerencia de la teoría de juegos, la modelación del comportamiento de los escenarios descentralizados requiere de las técnicas de la teoría de juegos y por esta razón, es necesario incluir una breve descripción de los temas específicos de la teoría de juegos que son aplicados en el modelo de contrato.

6.5.1 Juegos simultáneos y secuenciales

Los juegos simultáneos y secuenciales son representaciones de la forma en que los agentes interactúan en el juego, estos casos también son conocidos como estáticos y dinámicos. El tipo de juego seleccionado debe ser complementado con la variable estratégica a analizar. Esto representa la existencia de cuatro estrategias fundamentales que según (Leo Teng, 2010), pueden ser clasificadas como:

- a) **Juego simultáneo de fijación de cantidades** (Modelo de Cournot): los agentes establecen las cantidades de manera simultánea.
- b) **Juego simultáneo de fijación de precios** (Modelo de Bertrand): los agentes establecen los precios de manera simultánea.
- c) **Juego secuencial de fijación de cantidades** (liderazgo de cantidades o modelo de Stackelberg): en este juego de variable estratégica cantidad, una compañía selecciona una cantidad y con base en esta información, la otra compañía determina su cantidad a comprar. El primer y segundo tomador de decisión son denominados, líder y seguidor, respectivamente.

- d) **Juego secuencial de fijación de precios** (liderazgo de precios): este juego es similar al anterior, las decisiones se dan en una secuencia de líder – seguidor, excepto que, en este caso, la variable estratégica es el precio.

6.5.1.1 Modelo de Cournot

El modelo de (Cournot, 1838) anticipó por cerca de un siglo el concepto del equilibrio de Nash, es uno de los problemas clásicos de la teoría de juegos y una piedra angular de la organización industrial (Gibbons, 1992). La forma básica del modelo se presenta para un escenario de duopolio, las consideraciones son las siguientes: la variable estratégica son las cantidades, las cantidades q_1 y q_2 son establecidas de manera simultánea, los productos son homogéneos, la demanda está dada por una función con pendiente negativa en línea recta y ambas empresas tienen un costo marginal c .

El planteamiento del modelo inicial con el supuesto de que el precio final al cual se vende, depende de la cantidad total ofertada: $P \equiv P(q_1 + q_2)$. (Leo Teng, 2010).

Supóngase que $P(Q) = a - bQ$, donde $Q = q_1 + q_2$.

Cada empresa va a maximizar su propia utilidad, la cual está dada por:

$$\Pi_i = Pq_i - cq_i \quad \text{donde } i, j \in \{1, 2\} \quad (22)$$

$$\Pi_i = aq_i - bq_i^2 - bq_iq_j - cq_i \quad (23)$$

La condición de primer orden sería:

$$aq_i - bq_i^2 - bq_iq_j - cq_i = 0 \quad (24)$$

$$a - 2bq_i - bq_j - c = 0 \quad (25)$$

$$R_i(q_j) = q_i = \frac{a - bq_j - c}{2b} \quad (26)$$

Debido a que todas las empresas son simétricas, es decir, $q_j = q_i$, se tiene que

$$q_i = \frac{a - bq_i - c}{2b} \quad (27)$$

$$q_i = \frac{a - c}{3b} \quad (28)$$

Este valor representa la cantidad bajo la cual se alcanza el equilibrio de Nash en el juego, el equilibrio de Nash se define como “el conjunto de opciones estratégicas que, una vez hechas, no proporcionan incentivos para que los jugadores alteren más su comportamiento. Un equilibrio de Nash es una estrategia para cada jugador que es la mejor opción individual teniendo en cuenta las estrategias de equilibrio de los demás.” (Nicholson & Snyder, 2012).

Precio de equilibrio sería:

$$P = a - bQ = a - \frac{2(a - c)}{3} \quad (29)$$

$$P = \frac{a + 2c}{3} \quad (30)$$

6.5.1.2 Modelo de Bertrand

El modelo de (Bertrand, 1883) es planteado inicialmente para un escenario de competencia de duopolio, se asume que los productos son homogéneos (aunque existen extensiones para productos diferenciados) y la variable estratégica es el precio. El modelo es similar al expuesto por (Cournot, 1838) en la medida que ambos representan decisiones simultáneas, sin embargo, la idea fundamental del modelo de Bertrand es decidir sobre los precios y permitir que los compradores decidan cuánto comprar con estos precios.

Considérense un duopolio conformado por las empresas i y j , si la empresa i establece un precio menor al de j , la utilidad total correspondiente al mercado será obtenida por la empresa i , si los precios son iguales, la utilidad será dividida por partes iguales entre ambas empresas (Yildiz M., 2013).

Supóngase que las utilidades están dadas por $\Pi_i = Q * (p_i - c)$, con la función lineal de demanda $Q = a - bp_i$.

$$\prod_i(p_i, p_j) = \begin{cases} (a - bp_i)(p_i - c) & \text{Si } p_i < p_j \\ \frac{(a - bp_i)(p_i - c)}{2} & \text{Si } p_i = p_j \\ 0 & \text{Si } p_i > p_j \end{cases} \quad (31)$$

El único equilibrio de Nash para el modelo del Bertrand equivale a igualar ambos precios al costo marginal de cada una de las empresas, $p_i = p_j = c$. Para verificar que los valores anteriores corresponden a un equilibrio de Nash es necesario demostrar que ambas empresas están operando bajo la mejor respuesta a la otra, dicho de otro modo, ninguna de las empresas tiene incentivos para desviarse de

esta estrategia. Bajo este equilibrio, las empresas no obtienen ninguna utilidad, una pregunta natural es, ¿Puede una de las empresas obtener una utilidad mayor a cero desviándose de los precios establecidos en el equilibrio? La respuesta es no. Si la empresa aumenta el precio, obtendrá una utilidad equivalente a cero, por otro lado, si la empresa desvía su precio hacia uno inferior, obtendrá todas las ventas, pero generará utilidades negativas debido a que el precio de venta es menor al costo marginal. Debido a que no existe un incentivo para desviarse de $p_i = p_j = c$, se dice que este es un equilibrio de Nash (Nicholson y Snyder, 2012).

6.5.1.3 Modelo de Stackelberg

(Stackelberg, 1934) propone un modelo secuencial de duopolio en el cual intervienen un líder y un seguidor. El juego comparte las mismas características del modelo de Cournot, excepto que este se presenta en un escenario dinámico (o secuencial) y no en uno simultáneo como ocurre con el de Cournot o Bertrand. La variable estratégica son las cantidades.

Como lo describe (Gibbons, 1992), la secuencia de tiempo en la cual ocurre el juego es la siguiente: (1) la empresa 1 elige la cantidad $q_1 \geq 0$, (2) la empresa 2 observa el movimiento anterior y determina la cantidad $q_2 \geq 0$.

La función de utilidad está dada por:

$$\prod_i(q_i, q_j) = q_i[P(Q) - c] \quad (32)$$

Donde $P(Q) = a - bQ$ es la función del precio dependiente de la cantidad, $Q = q_1 + q_2$ corresponde a la demanda agregada y c , es el costo marginal de cada una de las empresas.

A diferencia de los juegos simultáneos presentados anteriormente, los juegos secuenciales son resueltos mediante inducción hacia atrás, esta técnica consiste en determinar las decisiones óptimas de adelante hacia atrás con base en la secuencia de toma de decisiones.

Para resolver este modelo mediante inducción hacia atrás, primero se calcula la reacción de la empresa 2 a una cantidad arbitraria de la empresa 1.

$$\prod_2(q_2, q_1) = q_2[a - bq_2 - bq_1 - c] \quad (33)$$

$$R_2(q_1) = q_2 = \frac{a - bq_1 - c}{2b} \quad \text{para } q_1 < (a - c)/b \quad (34)$$

Con esta cantidad, la empresa 1, determina la cantidad óptima q_1 maximizando la función de utilidad.

$$\prod_1(q_1, R_2(q_1)) = q_1[a - bq_1 - bR_2(q_1) - c] \quad (35)$$

$$q_1^* = \frac{a - c}{2b} \quad (36)$$

$$R_2(q_1^*) = \frac{a - c}{4b} \quad (37)$$

Estos valores corresponden al equilibrio de Nash en el modelo de duopolio de Stackelberg.

6.5.1.4 Liderazgo de precios

El modelo de liderazgo de precios se plantea en un escenario de duopolio bajo un escenario dinámico donde intervienen un líder y un seguidor, los precios son la variable estratégica. Comparte características con el modelo de Bertrand ya que ambos tratan los precios como variable estratégica, y al de Stackelberg ya que se da en una secuencia de líder seguidor.

Si se adopta el supuesto de homogeneidad de productos como en el modelo de Stackelberg y se considera el mismo costo marginal c para ambas empresas, se tiene que la empresa 1 elige un precio $p_1 > c$, para la empresa 2 siempre sería óptimo establecer un precio $p_2 < p_1$ y por lo tanto, obtener la totalidad del mercado. Debido a esta reacción de la empresa 2, la única decisión óptima de la empresa 1 es establecer $p_1 = c$, y de este modo, la empresa 2 establecería este mismo precio. Esto genera una ventaja de último decisor. Generalmente, analizar fijaciones de precio secuenciales con productos homogéneos no conlleva a conclusiones satisfactorias debido a la intensidad de la competencia. Sin embargo, productos diferenciados y sustitutos conllevarán a análisis con conclusiones diferentes. (Leo Teng, 2010).

6.6 MARCO NORMATIVO

El mecanismo de coordinación estudiado en el proyecto implica un acuerdo entre las partes respecto a precios y cantidades de compra, donde median las normas legales que rigen la elaboración de contratos en el escenario colombiano.

La normatividad vigente ampara los procesos colaborativos de las empresas colombianas y extranjeras bajo un tipo de cláusulas contractuales denominadas contratos de colaboración empresarial, los cuales son ideales para situaciones en las cuales dos o más empresas planean aunar esfuerzos para lograr un objetivo

común. En este tipo de contratos, no es necesaria la constitución jurídica de las empresas que integran el proceso colaborativo, además, para las empresas extranjeras no es obligatorio establecer una sociedad en Colombia, excepto para las actividades enmarcadas en el artículo 474 del Código de Comercio de Colombia (Procolombia, s. f.).

De acuerdo con (Procolombia, s. f.) los principales contratos de colaboración empresarial son clasificados como:

- Joint venture: las empresas distribuyen el riesgo de una actividad económica y establecen maneras de distribuir los beneficios derivados de ella.
- Franquicia: una compañía (franquiciante) otorga a otra a un individuo o grupo de personas, el derecho de explotar una marca comercial y comparte el know-how del negocio a cambio de una parte de los beneficios derivados.
- Agencia comercial: un comerciante otorga permisos a otro para la explotación y promoción del negocio en cierto lugar.
- Distribución: una compañía recibe las mercancías producidas o compradas por otra compañía y las vende en determinado lugar.
- Consorcio: ocurre cuando dos o más compañías se agrupan para la ejecución de un proyecto o para prestar un servicio.
- Unión temporal: dos o más compañías aúnan experiencia y esfuerzo para ejecutar un contrato o prestar un servicio.
- Cuentas en participación: dos o más compañías participan en uno o varios negocios, en el cual cada una participa de manera distinta: “una parte ejecutará el negocio a nombre propio (Socio Gestor) y los demás aportarán recursos para llevar a cabo los negocios” (Procolombia, s. f.).
- Licencias de uso de derechos de autor: en este contrato, un agente otorga derechos de explotación sobre los derechos de autoría de una obra a un individuo o personas.

Cada uno de estos contratos establece una serie de acuerdos de exclusividad, cláusulas de confidencialidad y aspectos de competencia. Sobre los acuerdos de exclusividad se destaca que estos se consideran legales solo si no atentan contra la reglamentación de competencia. Según la (Ley N° 256, 1996), “se considera desleal pactar en los contratos de suministro cláusulas de exclusividad, cuando dichas cláusulas tengan por objeto o como efecto, restringir el acceso de los competidores al mercado, o monopolizar la distribución de productos o servicios, excepto las industrias licoreras mientras éstas sean de propiedad de los entes territoriales”. Las cláusulas de confidencialidad resultan apropiadas en casos donde hay un intercambio de información confidencial de cada una de las empresas o agentes, su finalidad es proteger la confidencialidad de las partes implicadas. Los contratos deben tener precaución de no violar las normas de competencia del país, especialmente, aquellos cuerdos que establezcan fijación de precios y acuerdos

respecto al mercado. Se considera conducta anticompetitiva a todo acto enmarcado en uno o más de los siguientes puntos (Superintendencia de Industria y Comercio, s. f.), 1) acuerdo que prevenga, restrinja, o distorsione la competencia, 2) conductas abusivas por parte de agentes dominantes en el mercado, y 3) actos unilaterales que atenten contra la libre competencia o impliquen comportamientos abusivos.

Resulta preciso comentar que ninguno de los contratos de colaboración empresarial encaja de manera perfecta en el mecanismo de coordinación que se presenta en este trabajo, sin embargo, los principios anteriores rigen para cualquier tipo de proceso colaborativo realizados tanto con agentes del mismo sector económico, así como con empresas que integran la misma cadena de valor.

7. DIAGNÓSTICO DE LA CADENA DE SUMINISTRO

En esta parte del proyecto se caracteriza la cadena de suministro frutícola objeto de estudio. Esta cadena de suministro se encuentra localizada en el departamento del Valle del Cauca, Colombia, compuesta por pequeños productores de frutas cítricas que comercializan a intermediarios que después venden a detallistas hasta llegar al cliente final.

Se discute brevemente la situación actual del sector frutícola en el departamento del Valle del Cauca, se expone el panorama general de la producción de cítricos en la región, se comenta si existe o no asociatividad entre los productores, un mapeo general de la cadena y algunas estimaciones económicas son realizadas con una encuesta.

7.1 SECTOR FRUTÍCOLA EN EL DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA

El valle geográfico del río Cauca ha sido una región tradicionalmente de vocación agrícola, que durante la segunda mitad del siglo XX experimentó el auge del cultivo de caña como principal producto de la región (Uribe-Castro, 2015). Este fenómeno no puede ser generalizado para todas las subregiones del departamento del Valle del Cauca, algunas de estas, como la región norte se han caracterizado por una economía rural basada en el cultivo de las frutas.

Durante los últimos años, un conjunto de oportunidades de negocio, presiones externas y necesidades de diversificación han dado inicio a un sector frutícola dinámico en el departamento, importante a nivel nacional, pero no tan preponderante en la esfera internacional. (Cluster Development, 2014) resalta el crecimiento del mercado internacional de frutas frescas y procesadas, lo cual es contrastado por la inexistencia de estrategias para capitalizar estas oportunidades en la región.

En el departamento, actualmente 30,000 hectáreas de tierra son dedicadas a la producción frutícola, las frutas que más se producen en la región son papaya, piña, melón, maracuyá, mango, banano, al igual que fresas y cítricos. En términos volumétricos, la producción asciende a 600,000 toneladas al año, lo cual lo ubica como el segundo departamento con mayor producción y genera oportunidades para la creación de empleo, generación de divisas y aumento de los ingresos a los diversos productores, proveedores de insumos, comercializadores y transformadores. (El Tiempo, 2016; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006).

Actualmente existe una discusión en la región sobre las motivaciones para fomentar el sector frutícola, por una parte se produce una crítica hacia el sector cañero, especialmente hacia la generación de empleo rural, las cifras de empleo directo

permanente por hectárea en este cultivo es inferior a una persona, lo cual es contrarrestado por las cifras existentes del cultivo de frutas, que se estima, llegan a cuatro trabajadores permanentes por hectáreas en el cultivo de uva, uno en la piña y limón, en promedio los frutales pueden dar entre uno y cuatro empleos permanentes (Francisco José Lourido, 2016, citado por el El Tiempo, 2016). Por otra parte, los argumentos en torno a la sinergia de ambos cultivos en el departamento corresponden a una visión más integradora y comentan que ambos cultivos pueden coexistir con un propósito en común sobre el desarrollo de la región, parte de esto está fundamentado en el hecho de que empresas cañeras de la región han impulsado algunos cultivos frutícolas y que en algunas regiones, principalmente en el sur del departamento, las áreas cultivadas con frutales son zonas que no son aptas para el cultivo de la caña. Ambas opiniones confluyen en una síntesis, las condiciones del departamento son adecuadas para la producción intensiva de frutas y el panorama internacional es favorable para el impulso de este sector en la región.

7.2 PRODUCCIÓN DE CÍTRICOS EN EL DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA

El sector cítrícola vallecaucano está enmarcado dentro del esquema de la Cadena de Cítricos de Colombia, el cual está compuesto por tres sectores productivos: sector privado, sector público y entidades de apoyo, y se divide en 6 regiones productivas. Costa Atlántica (Córdoba, Sucre, Atlántico, Magdalena, Cesar y Bolívar), Nororiental (Santander, N. Santander y Boyacá), Centro (Cundinamarca, Huila y Tolima), Llanos Orientales (Meta y Casanare), Occidente (Antioquia, Valle del Cauca, Caldas, Quindío y Risaralda) y Sur (Cauca y Nariño).

Los cítricos se producen en 22 departamentos, especialmente en las Regiones Occidental y Costa Caribe. La evolución de la producción nacional ha ido en aumento durante los años 2010 – 2013 como se muestra a continuación.

Tabla 1. Producción nacional de cítricos

	2010	2011	2012	2013
Área (ha)	65.004	66.311	70.255	73.641
Producción (ton)	1.165.610	798.383	1.163.700	1.256.718
Rendimiento (ton/ha)	17.2	12,04	17,2	17,2

Fuente: (Escobar Quijano, s. f.)

Estas regiones cuentan con una gran diversidad de climas, suelos, régimen de lluvia y adaptación de nuevas variedades que pueden abastecer mercados internacionales como los países del caribe, países asiáticos y los bloques económicos con los cuales el país tiene tratados especiales. En la actualidad, los esfuerzos de exportación de los productos cítricos colombianos están dirigidos a los países con demanda creciente donde el consumo de cítricos es importante. En el Caribe: Martinica, Guadalupe. En Norteamérica: Canadá y Estados Unidos.

Mercado europeo: Inglaterra. Mercado asiático: Japón y Corea del Sur, y también hacia el mercado nacional (Escobar Quijano, s. f.).

El panorama nacional es alentador, especialmente en las regiones Costa Atlántica y Occidental, de la cual el Valle del Cauca hace parte, sobre el departamento se enfatizan las iniciativas recientes para la promoción del cultivo y programas de exportación (El País, 2017; Gobernación del Valle del Cauca, 2017).

Los municipios que hacen parte del núcleo de producción citrícola del departamento son Valle del Cauca: Alcalá, Andalucía, Ansermanuevo, Argelia, Bolívar, Buga, Bugalagrande, Caicedonia, Cali, Calima el Darién, Candelaria, Cartago, Dagua, El Águila, El Cerrito, Florida, Ginebra, Guacarí, Jamundí, La Cumbre, La Victoria, Obando, Palmira, Pradera, Restrepo, Riofrio, Roldanillo, San Pedro, Sevilla, Toro, Trujillo, Tuluá, Ulloa, Vijes, Yotoco, Yumbo y Zarzal.

Actualmente, esta familia de frutas es la que más se produce en la región con un volumen de producción de 144.000 toneladas al año, seguido de la piña con 136.000 y el banano con un total de 108.000 toneladas, y es considerado uno de los diez productos que puede transformar al Valle del Cauca (El Tiempo, 2017).

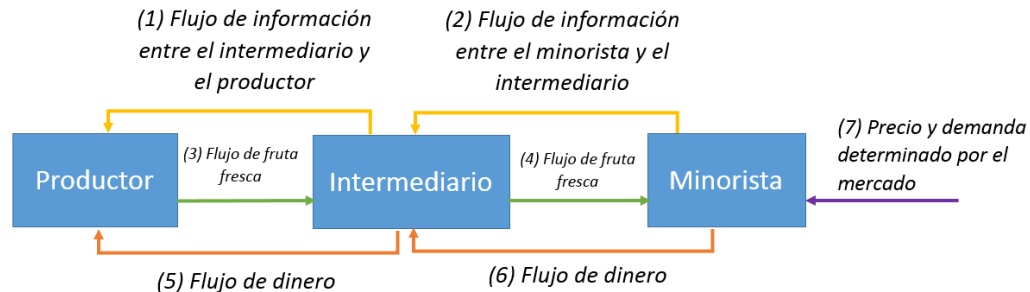
7.3 REPRESENTACIÓN GENERAL DE LA CADENA DE SUMINISTRO

La cadena de suministro frutícola objeto de estudio se encuentra conformada por tres eslabones: productores, intermediarios y detallistas. Los productores son unidades productivas de tamaño pequeño y mediano que se encuentran ubicados en zona rural del municipio de Andalucía, los intermediarios compran la producción citrícola a los productores para después comercializarla con detallistas, los detallistas son supermercados ubicados en varias zonas del departamento, especialmente, en los municipios aledaños a la zona de producción.

Tres aspectos de la cadena de suministro son de interés para el estudio de la coordinación con contratos: (a) flujos de material, información y financiero, (b) asociatividad de los productores y (c) secuencia de toma de decisiones.

De manera generalizada, es posible considerar que la cadena de suministro en el eslabón del productor carece de un modelo de asociatividad formal, en lugar de esto, se puede apreciar un comportamiento similar en los productores con respecto a las decisiones de producción, las cuales están estrechamente ligadas a las condiciones climáticas; la fijación de precios, la cual es establecida por el intermediario o en algunas casos, por medio de un acuerdo mutuo; y el flujo de información entre dos eslabones se limita a actividades de intercambio comercial. Los productores, a pesar de ser la base de la cadena, son el eslabón de menor poder de negociación en el esquema; los intermediarios y el detallista presentan un mayor grado de comunicación, sin embargo, es posible apreciar que el detallista es el eslabón de mayor poder de negociación, seguido por los intermediarios.

Ilustración 5. Flujo de la cadena de suministro objeto de estudio



Fuente: Elaboración propia

La ilustración 5 representa los flujos que se dan entre los eslabones de la cadena, así como las variables del mercado que enfrenta el detallista. Nótese que el eslabón 1 se denomina productor, aunque ya se comentó que este está integrado por varios productores, las denominaciones se realizan de esta manera por motivos de simplicidad. A continuación, se describen cada uno de los flujos.

(1) Flujo de información entre el intermediario y el productor: el flujo de información entre el intermediario y el productor es casi inexistente, no se aprecia una colaboración conjunta sobre decisiones de producción, almacenamiento o coordinación de operaciones. La información transmitida de un eslabón al otro se limita a aquella llevada a cabo en el momento de la negociación de precios. Este comportamiento es de esperarse debido a la naturaleza del eslabón productor que está compuesto principalmente por pequeños y medianos productores que carecen de las herramientas y el volumen de producto comercializado necesario para establecer relaciones con un cliente mayorista.

(2) Flujo de información entre el detallista y el intermediario: el intermediario regularmente está inscrito como proveedor del detallista. Recibe los requerimientos de producto, en términos de cantidad, frecuencia, precio y condiciones de empaque. Algunos de ellos deben proveerse de varias fuentes de suministro (productores) para cumplir los requerimientos de la demanda. Adicionalmente, el nivel de desarrollo tecnológico varía en función a sistemas de comunicación, para la recepción de pedidos, y nivel de agregación de valor de empaque (clasificación del producto, embalaje en sacos, mallas, entre otros) y de lavado, limpieza del producto y mejoramiento de la apariencia mediante el proceso de encerado de los limones. Conocen las condiciones de pago y regularmente se acogen a las políticas de pago del detallista.

(3) Flujo de producto de fruta fresca entre el intermediario y el productor: las cantidades de producción escasamente son planificadas, el flujo entre estos dos

eslabones es básicamente la cantidad mínima entre aquella requerida por el intermediario y la cantidad producida por los productores. Esto genera en muchos casos desperdicio de fruta ya que la mayoría de los pequeños productores no cuentan con las capacidades técnicas para almacenar producto excedente, lo cual, además, evidencia la inexistencia de inventario de seguridad.

(4) Flujo de producto de fruta fresca entre el detallista y el intermediario: el intermediario regularmente cuenta con transporte propio, y recoge los productos en el punto de producción y entrega en el centro detallista. El producto es entregado al detallista cumpliendo los requerimientos de empaque y rotulado exigido si es el caso. La entrega se hace con la frecuencia exigida y cumpliendo el proceso documental exigido para la recepción. Adicionalmente en algunos casos, está sujeto a devoluciones, es decir, flujo de retorno con devoluciones, de los productos rechazados por el detallista de acuerdo con su política a proveedores.

(5) Flujo de dinero de fruta fresca entre el intermediario y el productor: este flujo se comporta de manera similar al flujo de producto, se realiza de manera inmediata en el momento de la negociación. No se evidencian programas de financiamiento por ninguna de las partes, ni relaciones complejas y formales respecto al flujo financiero entre los eslabones.

(6) Flujo de dinero de fruta fresca entre el detallista y el intermediario: el intermediario, soporta los costos financieros del crédito de acuerdo con la política de pago de los centros detallistas. Es decir, ellos asumen los días de crédito establecidos como política impuesta por los detallistas y en algunos casos los descuentos por deterioro del producto. En general estos términos de pago no son transferidos a los productores a quienes les pagan de contado en la mayoría de los casos.

(7) Condiciones del mercado que enfrenta el minorista: para el detallista dos variables del mercado son de interés para la obtención de utilidades y en algunas ocasiones, disminución del riesgo inherente en ellas, los precios y la demanda. Los precios de las frutas no pueden ser establecidos por la entidad detallistas, en lugar de esto, son establecidos de acuerdo a las dinámicas de la demanda y la oferta del mercado nacional, esta información puede ser rastreada en el sitio web de Corabastos. La demanda se caracteriza por ser elástica, los cambios en los precios suelen generar mayores actitudes de compra por parte de la población (Combariza, 2013).

7.4 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS COMERCIALES

Con el fin de tener unas estimaciones de las variables económicas que afectan la cadena de suministro citrícola de la región Valle del Cauca, durante la segunda mitad del año 2017 se llevaron a cabo una serie de encuestas entre los productores,

intermediarios y detallistas que conforman la cadena. La encuesta indaga sobre diferentes aspectos de las operaciones, finanzas y relaciones con proveedores y clientes, sin embargo, de una serie de 67 preguntas, solo 6 se consideran de interés para el desarrollo de un modelo de coordinación con contratos.

Las siguientes preguntas de la encuesta obedecen a datos de interés para el presente trabajo:

1. ¿Qué fruta o grupo de frutas produce?
2. ¿Cuál es la demanda o ventas promedio de cada producto en kilogramos?
3. ¿Cuál es el precio promedio en el que vende el producto a sus clientes?
4. ¿Qué cantidad de producto se cosecha al mes?
5. ¿Cuál es el costo promedio de producción de cada fruta?
6. ¿Cuál es el valor de salvamento de su producto?

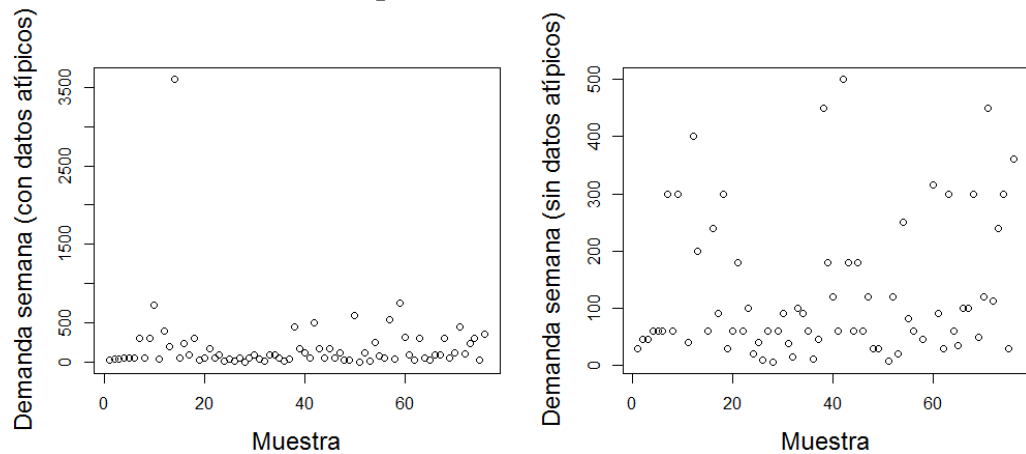
Con base en el modelo referente presentado en el capítulo anterior, es posible reconocer que los datos de especial interés son aquellos relacionados con la demanda del mercado, precio de la fruta en el mercado final, valor de salvamento de la fruta, costos de cada uno de los eslabones y patrón de toma de decisiones en la cadena. Los datos de la encuesta, en conjunto con la información de precios obtenida del sitio web de información de Corabastos, proporcionan información aproximada para la estimación de los parámetros comerciales y económicos de interés.

Primero, se analiza la pregunta 1, en esta, 84 de 99 productores reportaron el limón o limón pajarito como el principal la fruta que producen. Los datos estadísticos que se analizan se limitan a esta fruta.

La demanda o ventas semanales reportadas por los productores se pueden ver representadas en el siguiente gráfico. Se observa que mientras la mayoría de las observaciones se comportan en un rango que va de 0 a 500 unidades mensuales, algunos datos son muy superiores a estos. Algunas de los productores que fueron visitados presentan acceso a mayor capital y con esto, mayores capacidades de producción, lo cual puede hacer que los datos sobre producción y demanda sea altamente superiores a la media. Debido al interés de estudiar los pequeños productores, estos datos se consideran atípicos y son eliminados de las muestras, para esto, un procedimiento de detección de datos atípicos basado en el rango intercuartílico es implementado en el lenguaje de programación R, este enfoque se aplica a las demás preguntas donde se pudo apreciar datos atípicos. (ver Anexo Digital 1)

En la Ilustración 6 el cuadro de la izquierda indica los datos obtenidos en la encuesta sin eliminar los datos atípicos y en gráfico de la derecha se presentan los datos después de la detección y eliminación de las observaciones atípicas.

Ilustración 6. Diagrama de dispersión de los datos de demanda semanal de los productores

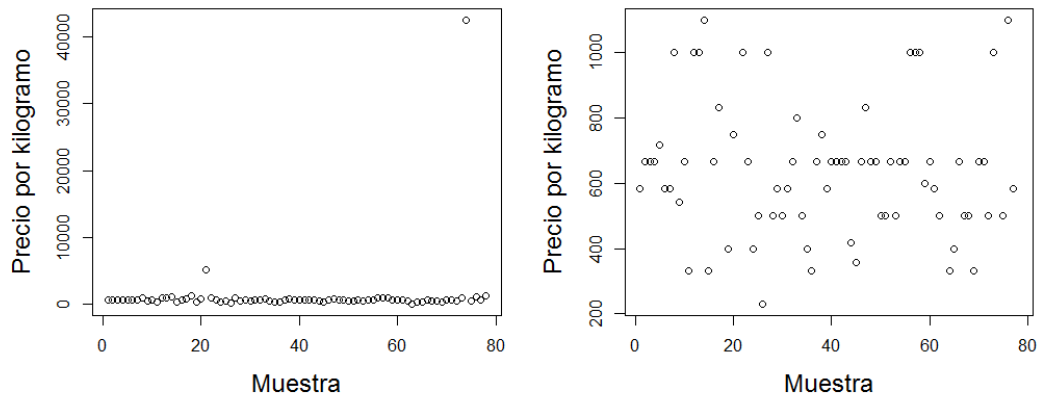


Fuente: Elaboración propia

Sin tomar en consideración 5 puntos atípicos, la media de la demanda semanal reportada por los productores corresponde a 125.53 unidades.

En el caso de los precios, es posible observar un mayor grado de homogeneidad respecto a demás respuestas obtenidas en la encuesta. Lo cual demuestra que esta rara vez puede ser modificado por la influencia de los agentes que realizan el intercambio comercial, y en lugar de esto, obedece al precio del mercado. Se detectan cinco datos atípicos que, al ser eliminados, se obtiene una media muestral de \$ 638,78 por kilogramo de fruta. Los precios de transferencia se comportan de manera similar, con un precio promedio de \$552.1076 por kilogramo de fruta.

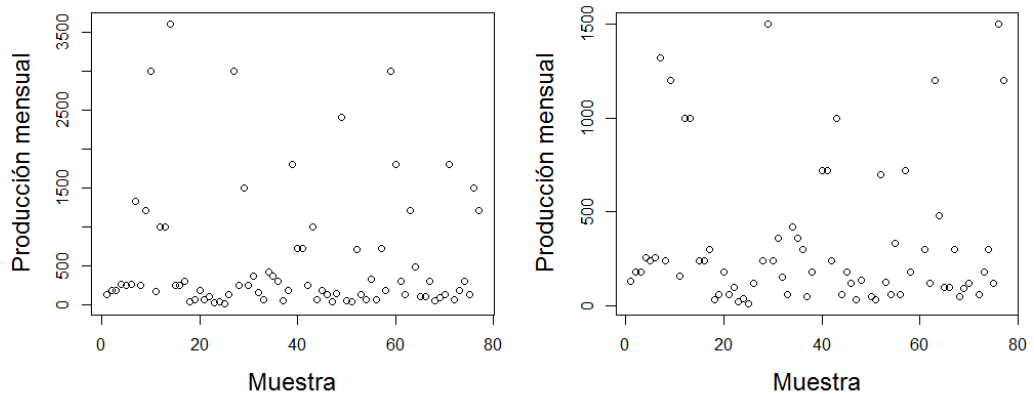
Ilustración 7. Diagrama de dispersión de los datos de precios de los productores



Fuente: Elaboración propia

A diferencia de la demanda y el precio, los datos iniciales sobre la producción de los diferentes productores varían de manera notable, representado un coeficiente de variación de 141.7021%, al eliminar los datos atípicos, este valor se reduce a un 115.14% y se obtiene una media de 334.8 kilogramos mensuales. A continuación, se muestran los gráficos de dispersión de los datos.

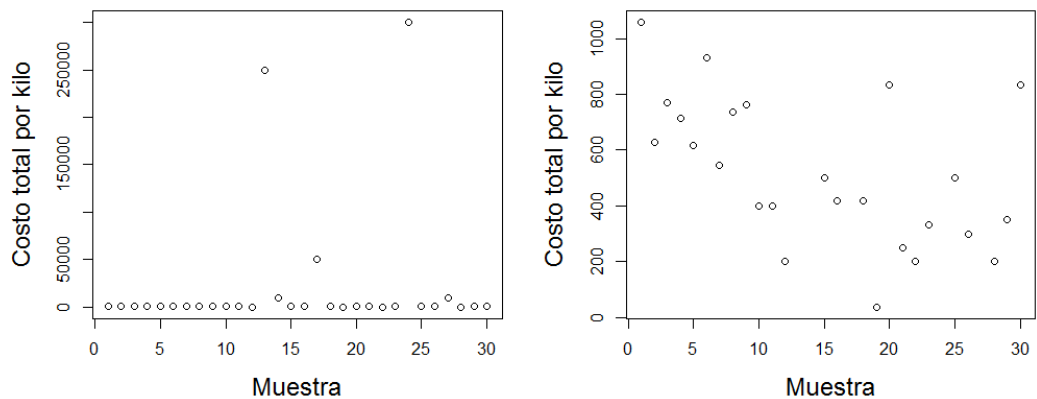
Ilustración 8. Diagrama de dispersión de los datos de producción mensual de los productores



Fuente: Elaboración propia

La información sobre el costo total variable por kilo de fruta producido es de especial importancia para el propósito del trabajo, se observa una baja variabilidad en la muestra, sin embargo, es de notar la baja proporción de productores que conocen o tienen una estimación de este dato, solo un tercio de ellos lo hace. Sin contar los datos atípicos, la muestra indica un costo variable de \$517.18 por fruta producida.

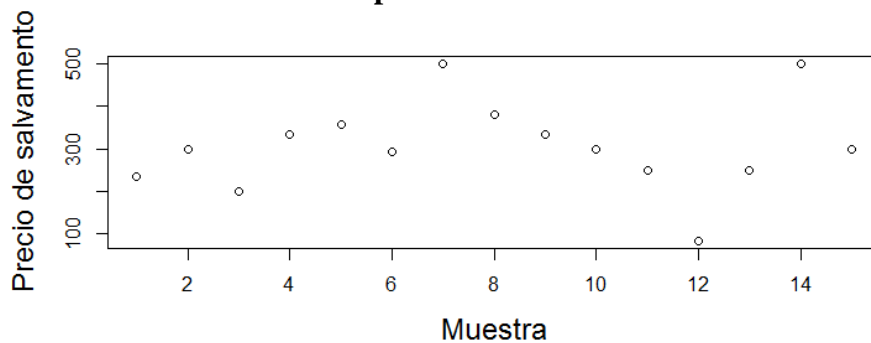
Ilustración 9. Diagrama de dispersión de los datos de costo variable de los productores



Fuente: Elaboración propia

Respecto al tamaño muestral inicial, solo 15 productores reportan una estimación económica del valor al cual pueden liquidar la fruta excedente. Esta muestra representa una baja variabilidad, y el valor de todos estos varía alrededor de una media de \$307.5 por kilogramo de fruta excedente.

Ilustración 10. Diagrama de dispersión de los datos de precio de salvamento de los productores



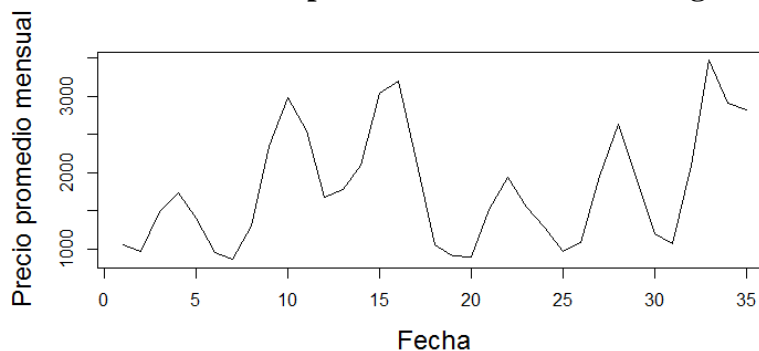
Fuente: Elaboración propia

Precio del limón común reportado en Corabastos

La información obtenida de los reportes de Corabastos refleja el precio ofrecido al público, esta central de compras de productos agrícolas es la más grande del país y aunque inicialmente está diseñada para abastecer el mercado de Bogotá y zonas aledañas, el precio representa el comportamiento general en el país.

Para esto, se obtuvo el historial de precios desde enero del 2015 hasta noviembre del 2017, se obtuvo el siguiente gráfico sobre su comportamiento. Nótese que el mes 1 y 35 representan los meses enero de 2015 y noviembre de 2017, respectivamente. Con un precio promedio de 1795.4.

Ilustración 11. Evolución del precio histórico del limón registrado en Corabastos



Fuente: Elaboración propia con datos de www.corabastos.com.co

8. MODELO PROPUESTO

En el presente capítulo se presenta el desarrollo del contrato propuesto para coordinar la cadena de suministro, el contrato es basado en un artículo referente cuyo modelo se aproxima a las características de la cadena de suministro descrita. El contrato de ingresos compartidos presentado al final, intenta aliviar las diferencias entre el modelo referente y el problema estudiado.

8.1 MODELO REFERENTE

La construcción del modelo propuesto parte de unos antecedentes que comparten características con el problema descrito, para este caso, se ha seleccionado el artículo de Van der Rhee, Van der Veen, Venugopal y Nalla. "A new revenue sharing mechanism for coordinating multi-echelon supply chains." *Operations Research Letters* 38.4 (2010): 296-301. En el cual se plantea un modelo de contrato de ingresos compartidos para una cadena de suministro de varios eslabones, entre los supuestos considerados en este trabajo, es posible encontrar los siguientes:

- Cadena de suministro de varios eslabones
- Demanda estocástica
- Control del contrato de manera centralizada

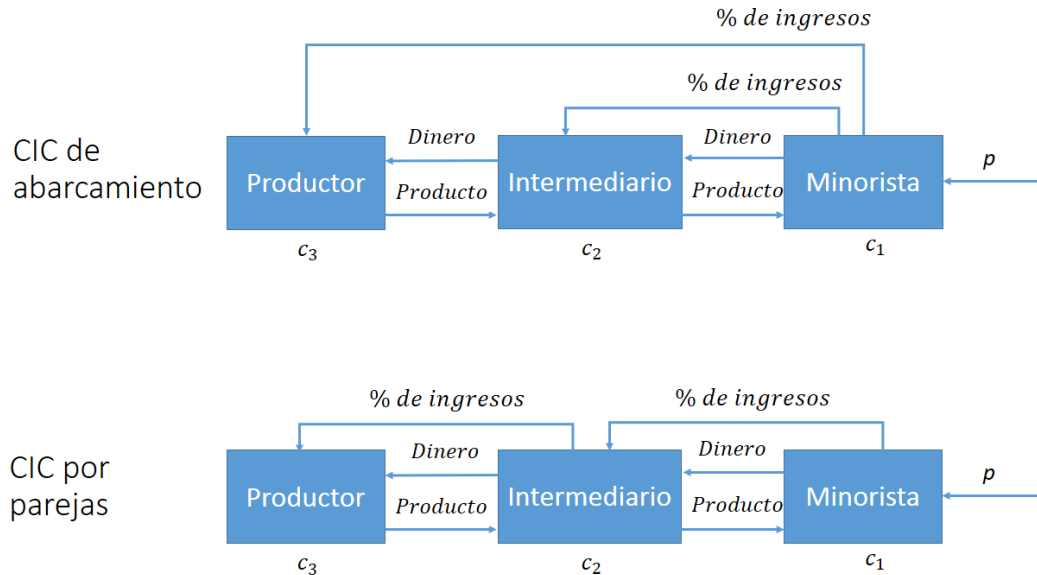
(Van der Rhee et al., 2010) empiezan por definir los conceptos de mecanismo de coordinación, contratos de suministro y contrato de ingresos compartidos, contextualizan estos dentro de la problemática de sub optimización de recursos en la cadena de suministro.

Los contratos de ingresos compartidos generalmente han sido modelados bajo una estructura "por parejas" (pairwais), (Van der Rhee et al., 2010) comentan que este presenta algunos inconvenientes desde el punto de vista de implementación, tales como, el supuesto implícito de que todos los contratos se instalan simultáneamente, tal suposición es necesaria para asegurar la correcta instalación del contrato completo porque los ajustes de parámetros en los diversos contratos dependen entre sí, es decir, un contrato no puede ser configurado sin el conocimiento de los otros contratos. Por esta razón, la implementación de un contrato por parejas a través de toda la cadena de suministro tiene poca probabilidad de ocurrencia en la vida real.

A diferencia del contrato 'pairwise' donde los términos de la relación contractual son establecidos por cada pareja de entidades, el nuevo modelo de contrato presentado por (Van der Rhee et al., 2010), llamado 'spanning' o de abarcamiento, tiene por principio, la toma de liderazgo en la negociación del contrato por una sola entidad, esta determina los valores de las variables implícitas en el modelo. "La idea fundamental en este nuevo mecanismo es que, si cada entidad disminuye su precio al por mayor, sus respectivos compradores tienen un incentivo para disminuir sus

precios también. Como consecuencia, la entidad más aguas abajo decide incrementar su tamaño de pedido, de modo que se incrementa la disponibilidad del producto para el consumidor final, así como los ingresos totales de la cadena de suministro.”

Ilustración 12. CIC por parejas vs CIC abarcamiento



Fuente: (Van der Rhee et al., 2010)

Modelo de cadena de suministro multi-eslabón

Considérese una cadena de suministro de n eslabones, donde $n \geq 2$, 1 es la entidad más río abajo y n más río arriba en la cadena.

w_{i+1} Precio de venta del eslabón i , $w_1 = 0$

c_i Costo operativo del eslabón i

p Precio de venta determinado por el mercado

Q Cantidad de orden

$p > \bar{c} := \sum_{i=1}^n c_i$, debe cumplirse que el precio de mercado sea mayor que el costo de toda la cadena de suministro.

Supuestos

- Producto de ciclo de vida corto, por lo tanto, hay un periodo único de orden.
- La cantidad ordenada Q pasa a través de todos los eslabones de la cadena de suministro.

- Todos los eslabones tienen capacidad suficiente para cualquier tamaño de orden Q realístico.
- Toda cantidad de demanda no suplida es venta perdida.
- No hay inventario de periodos finales.
- El inventario final no puede ser utilizado para periodos posteriores.

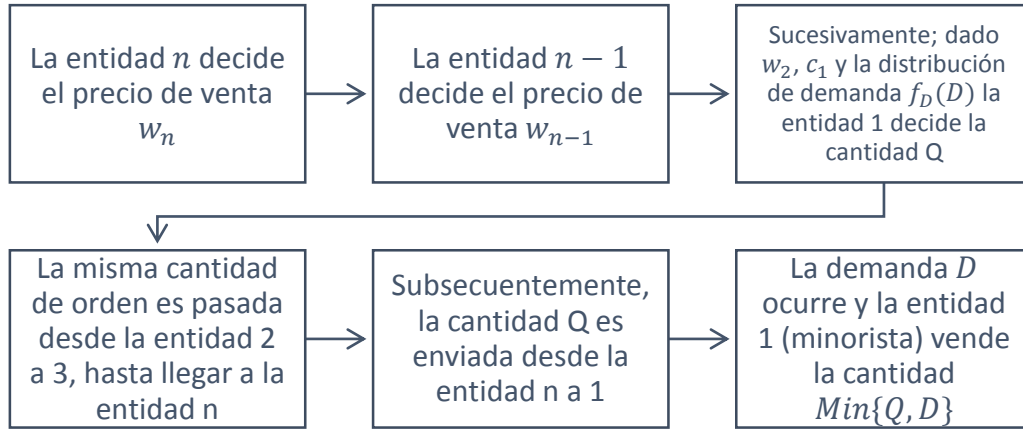
La demanda final del consumidor está representada por una variable aleatoria D con distribución $f_D(D)$ cantidad de orden,

$F_D(Q) = \int_0^Q f_D(D) dD$ Distribución de probabilidad acumulada de la variable aleatoria D , definida en el intervalo $[0, Q]$

$G_D(Q) = \int_0^Q D f_D(D) dD$ Valor esperado truncado de la distribución de probabilidad en el intervalo $[0, Q]$

La secuencia de eventos que toma lugar en la cadena de suministro es la siguiente:

Ilustración 13. Secuencia de eventos de la cadena de suministro del modelo referente



Fuente: (Van der Rhee et al., 2010)

La utilidad de la entidad 1 está dada por:

$$\prod_1 = p * E_D(\text{Min}\{Q, D\}) - (c_1 + w_2)Q \quad (38)$$

$$\prod_1 = (p - c_1 - w_2)Q - pQ F_D(Q) + pG_D(Q) \quad (39)$$

Las utilidades para las entidades 2, ..., n están dadas por:

$$\prod_i = (w_i - c_i - w_{i+1})Q \quad (40)$$

Así, la utilidad total esperada de la cadena de suministro está dada por:

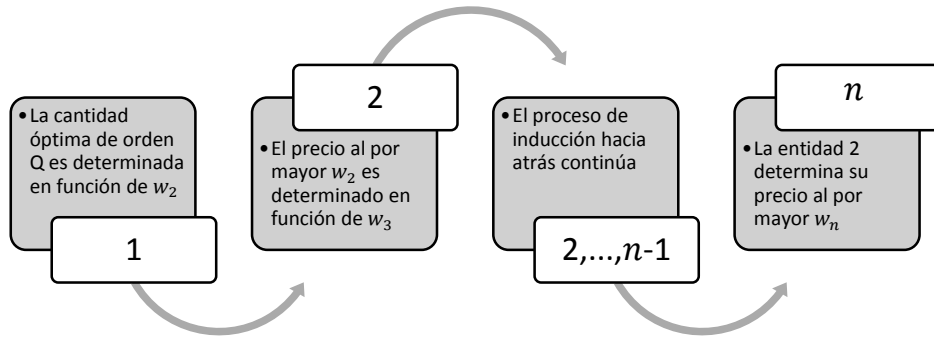
$$\prod_{SC} = \sum_{i=1}^n \prod_i = (p - \bar{c}) Q - pQ F_D(Q) + pG_D(Q) \quad (41)$$

Bajo el escenario centralizado, todas las decisiones son tomadas por una sola entidad, en este caso, la cadena de suministro enfrenta un problema de vendedor de periódicos con costo de excedente $c_e = \bar{c}$ y costo de faltante $c_s = p - \bar{c}$. De esta manera, la cantidad óptima de pedido es:

$$Q^c = (F_D)^{-1} \left(\frac{p - \bar{c}}{p} \right) \quad (41)$$

Considérese un escenario descentralizado, en este, cada entidad toma decisiones individualmente, procurando por la optimización de su propia utilidad, y se genera cadena de suministro no coordinada. Existen diferentes maneras de modelar esta situación, sin embargo, (Van der Rhee et al., 2010) asumen que la optimización ocurre en una secuencia de Stackelberg, donde, en una línea de tiempo, la entidad n es la primera tomadora de decisiones y el modelo es resuelto en inducción hacia atrás a partir de la entidad más río abajo.

Ilustración 14. Proceso de inducción hacia atrás del modelo referente



Fuente: Elaboración propia

Bajo este escenario, el minorista enfrenta un problema de vendedor de periódicos con costo de excedente $c_e = c_1 + w_2^d$ y costo de faltante $c_s = p - c_1 - w_2^d$. De esta manera, la cantidad óptima de pedido es:

$$Q^d = (F_D)^{-1} \left(\frac{p - c_1 - w_2^d}{p} \right) \quad (42)$$

La utilidad esperada para la entidad 1 es:

$$\prod_{SC}^c = pG_D(Q^d) \quad (43)$$

Para las entidades 2, ..., n:

$$\prod_i^d = (w_i^d - c_i - w_{i+1}^d)Q^d \quad (44)$$

De esta manera, la utilidad total esperada de la cadena de suministro es:

$$\prod_i^d = (w_i^d - c_i - w_{i+1}^d)Q^d + pG_D(Q^d) \quad (45)$$

Van der Rhee et al. (2010) demuestran que $\Delta = \prod_{SC}^c - \prod_{SC}^d > 0$, por lo tanto, el escenario descentralizado no logra coordinar la cadena de suministro sin la existencia de mecanismo de coordinación.

Contrato de ingresos compartidos de abarcamiento

Denotado por el subíndice s , el contrato de ingresos compartidos de abarcamiento está constituido por los precios de venta al por mayor w_i^s y los coeficientes de distribución de ingresos φ_i , se debe cumplir que $0 \geq \bar{\varphi} = \sum_{i=2}^n \varphi_i^s \leq 1$

Bajo el contrato de ingresos compartidos de abarcamiento, las utilidades esperadas están dadas por:

$$\prod_1^s = ((1 - \bar{\varphi})p - c_1 - w_2^s)Q - (1 - \bar{\varphi})pQF_D(Q) + (1 - \bar{\varphi})pG_D(Q) \quad (46)$$

$$\prod_i^s = (\bar{\varphi}p + w_i^s - c_i - w_{i+1}^s)Q - \bar{\varphi}pQF_D(Q) + \bar{\varphi}pG_D(Q) \quad \forall i = 2, \dots, n \quad (47)$$

Teorema 1

El contrato de ingresos de abarcamiento $\langle w_2^s, \dots, w_n^s; \varphi_2^s, \dots, \varphi_n^s \rangle$ con la condición **(1)** $w_2^s = (1 - \bar{\varphi})\bar{c} - c_1$, coordina la cadena de suministro.

La entidad 1 enfrenta un problema de vendedor de periódicos con costo de excedente $c_e = c_1 + w_2^d$ y costo de faltante $c_s = (1 - \bar{c})p - c_1 - w_2^d$. De esta manera, la cantidad óptima de pedido es:

$$Q^s = (F_D)^{-1} \left(\frac{(1 - \bar{c})p - c_1 - w_2^d}{p} \right) \quad (48)$$

Con la condición **(1)** es posible verificar que $Q^s = Q^c$,

Utilizando esta cantidad óptima de pedido, se tiene que que:

$$\prod_1^s = (1 - \bar{\varphi})pG_D(Q^s) = (1 - \bar{\varphi}) \prod_{sc}^c \quad (49)$$

$$\prod_i^s = (\varphi_i^s \bar{c} + w_i^s - c_i - w_{i+1}^s)Q^s + \varphi_i^s \prod_{sc}^c \quad (50)$$

De esta manera

$$\prod_{sc}^s = \sum_i^n \prod_i^s = \prod_{sc}^c \quad (51)$$

La condición (1) puede representar un valor muy bajo o incluso negativo, sin embargo, (Van der Rhee et al., 2010) señala que, a través del contrato de ingresos compartidos, esta característica puede ser compensada.

Solución Gana-Gana

Desde un punto de vista práctico, el alcance de una solución gana-gana es esencial para el convencimiento de los demás miembros de la cadena de aceptar el contrato, puesto que, los miembros de la cadena sólo aceptaran el contrato, si las utilidades individuales son mayores que aquellas obtenidas en el escenario descentralizado.

Las condiciones necesarias para alcanzar una solución ganan, son:

$$\prod_2^s = ((\varphi_2^s + 1 - \bar{\varphi})\bar{c} - c_1 - c_2 - w_3^s)Q^c + \varphi_2^s \cdot \prod_{sc}^c > \prod_2^d; \quad \text{para } i = 2 \quad (52)$$

$$\prod_i^s = (\varphi_i^s + w_i^s - c_i - w_{i+1}^s)Q^c + \varphi_i^s \cdot \prod_{sc}^c > \prod_i^d; \quad \text{para } i = 3, \dots, n \quad (53)$$

Sea Ω el conjunto de todos los contratos de ingresos compartidos $\langle w_2^s, \dots, w_n^s; \varphi_2^s, \dots, \varphi_n^s \rangle$, todos los contrato de este conjunto alcanzan tanto, la coordinación de la cadena de suministro como el estado gana-gana. Para demostrar que el conjunto Ω no está vacío y que las condiciones anteriores son válidas, (Van der Rhee et al., 2010) presentan dos casos especiales de los elementos de Ω , en los cuales se nombra la manera de definir los valores de las variables w_i^s y los valores de φ_i^s , el cual se realiza de dos maneras: uno en el que todas las entidades reciben el mismo incremento absoluto en las ganancias; y uno en el que reciben el mismo aumento o incremento relativo en las ganancias.

Caso especial 1

Considérese el contrato $\langle w_2^s, \dots, w_n^s; \varphi_2^s, \dots, \varphi_n^s \rangle$ y asúmase que la condición (1) es satisfecha, además, para $i = 3, \dots, n$ los precios al por mayor se definen como:

$$w_i^s = \sum_{j=1}^n (c_j - \varphi_j^s \bar{c}) \quad (54)$$

i. Si para $i = 2, \dots, n$

$$\varphi_i^s = \frac{\prod_i^d + \frac{\Delta}{n}}{\prod_{sc}^c} \quad para = 2, \dots, n \quad (55)$$

Las utilidades están dadas por:

$$\prod_i^s = \prod_i^d + \frac{\Delta}{n} \quad para i = 1, \dots, n \quad (56)$$

De esta manera, todas las entidades obtienen la misma utilidad absoluta adicional comparada con aquella obtenida en el escenario descentralizado.

ii. Si para $i = 2, \dots, n$

$$\varphi_i^s = \frac{\prod_i^d}{\prod_{sc}^d} \quad para = 2, \dots, n \quad (57)$$

Las utilidades están dadas por:

$$\prod_i^s = \left(1 + \frac{\Delta}{\prod_{sc}^d}\right) * \prod_i^d \quad para i = 1, \dots, n \quad (58)$$

De esta manera, todas las entidades obtienen el mismo porcentaje de utilidad adicional comparada con aquella obtenida en el escenario descentralizado.

Caso especial 2

Considérese el contrato $\langle w_2^s, \dots, w_n^s; \varphi_2^s, \dots, \varphi_n^s \rangle$ y asúmase que la condición (1) es satisfecha, además, para $i = 3, \dots, n$ los precios al por mayor se definen como:

$$w_i^s = \sum_{j=1}^n c_j \quad (59)$$

I. Si para $i = 2$,

$$\varphi_2^s = \frac{\bar{c}Q^c \left((n-1)\frac{\Delta}{n} + \Pi_{sc}^d - \Pi_1^d \right) + \Pi_{sc}^c \left(\frac{\Delta}{n} + \Pi_2^d \right)}{(\bar{c}Q^c + \Pi_{sc}^c) \Pi_{sc}^c} \quad (60)$$

Y para $i = 3, \dots, n$,

$$\varphi_i^s = \frac{\Pi_i^d + \frac{\Delta}{n}}{\bar{c}Q^c + \Pi_{sc}^c} \quad (61)$$

Las utilidades están dadas por:

$$\prod_i^s = \prod_i^d + \frac{\Delta}{n} \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad (62)$$

II. Si para $i = 2$,

$$\varphi_2^s = \frac{\bar{c}Q^c (\Pi_{sc}^d - \Pi_1^d) + \Pi_2^d \Pi_{sc}^c}{(\bar{c}Q^c + \Pi_{sc}^c) \Pi_{sc}^d} \quad (63)$$

Y para $i = 3, \dots, n$,

$$\varphi_i^s = \left(\frac{\Pi_i^d}{\Pi_{sc}^d} \right) \left(\frac{\Pi_{sc}^d}{\bar{c}Q^c + \Pi_{sc}^c} \right) \quad (64)$$

Las utilidades están dadas por:

$$\prod_i^s = \left(1 + \frac{\Delta}{\Pi_{sc}^d}\right) * \prod_i^d \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad (65)$$

8.2 CARACTERÍSTICAS DEL MODELO PROPUESTO

Las características del modelo referente y la caracterización proporcionan un gap que debe ser resuelto mediante el modelo propuesto que se presenta en este capítulo. El modelo de (Van der Rhee et al., 2010), tiene como principales características: a) cadena de suministro de n eslabones, b) demanda estocástica, c) los elementos más río arriba de la cadena de suministro son los primeros tomadores de decisiones, d) los procesos de negociación entre los eslabones se dan mediante un patrón de líder-seguidor. En la caracterización se pueden identificar como principales componentes de la cadena de suministro: a) cadena de suministro de tres eslabones, b) variaciones no muy altas en los parámetros comerciales, c) los precios dependen en gran medida de la oferta, d) los procesos de negociación se dan mediante un patrón de líder seguidor, donde el productor y el detallistas son el eslabón de menor y mayor poder de negociación respectivamente, e) existe un precio de salvamento para el producto excedente.

El siguiente modelo conserva algunas características del propuesto por (Van der Rhee et al., 2010) y algunas identificadas en la caracterización.

Características del modelo propuesto:

- La cadena de suministro está compuesta por tres eslabones.
- Los eslabones más río abajo presentan mayor poder de negociación.
- Las negociaciones se dan en una forma líder – seguidor.
- La demanda se considera una variable aleatoria, por simplicidad se asume una distribución uniforme continua.
- Los precios y costos se consideran variables determinísticas.
- El producto es perecedero.
- Todo producto no vendido al final del periodo se puede recuperar a un precio de salvamento.
- Toda demanda no suplida se considera venta perdida.

8.3 NOTACIÓN

Tabla 2. Notación matemática del modelo propuesto

Símbolo	Descripción
p	Precio del mercado del producto a comercializar
s	Valor de salvamento por cada producto no vendido
D	Variable aleatoria de la demanda del cliente final del producto
$[L, U]$	Límites superior e inferior de la distribución de probabilidad uniforme continua
$f_D(D)$	Función de densidad de probabilidad
$F_D(Q)$	Función de distribución acumulada
$G_D(Q)$	Valor esperado de la distribución de probabilidad truncada entre 0 y Q
c_i	Costo operativo del eslabón i
c	Índice que denota el escenario centralizado
d	Índice que denota el escenario descentralizado
rs	Índice que denota el contrato de ingresos compartidos
Π_m^n	Utilidad del elemento m de la cadena bajo el escenario n
w_i^n	Precio al por mayor ofertado por el eslabón i bajo el escenario n
ϕ_i	Coeficiente de distribución de ingresos del eslabón 1 al eslabón i

Fuente: Elaboración propia

8.4 MODELAMIENTO DEL ESCENARIO CENTRALIZADO

En esta sección se representa el escenario donde la cadena de suministro funciona como un sistema centralizado, es decir, las decisiones tomadas respecto a cada uno de los eslabones tienen como finalidad mejorar el desempeño de la cadena.

$$F_D(Q) = \int_L^Q f_D(D) dD$$

$$G_D(Q) = \int_L^Q D * f_D(D) dD$$

Bajo este escenario, las utilidades de los eslabones y la CS están dados por las ecuaciones:

$$\prod_{\frac{1}{c}}^c = E_D[p \cdot \text{Min}\{Q_c, D\} - (w_2^c + c_1)Q_c + s(Q_c - D)^+] \quad (66)$$

$$\prod_{\frac{1}{c}}^c = (p - w_2^c - c_1)Q_c + s[Q_c F(Q_c) - G(Q_c)] + p[G(Q_c) - Q_c F(Q_c)] \quad (67)$$

$$\prod_{\frac{2}{c}}^c = (w_2^c - w_3^c - c_2)Q_c \quad (68)$$

$$\prod_{\frac{3}{c}}^c = (w_3^c - c_3)Q_c \quad (69)$$

$$\prod_{\frac{sc}{c}}^c = E_D[p \cdot \text{Min}\{Q_c, D\} + s(Q_c - D)^+] - \sum_i^n c_i Q_c \quad (70)$$

$$\prod_{sc}^c = \left(p - \sum_i^n c_i\right) Q_c + s[Q_c F(Q_c) - G(Q_c)] + p[G(Q_c) - Q_c F(Q_c)] \quad (71)$$

Para solucionar el problema centralizado es necesario optimizar la ecuación (71), las características descritas previamente indican que la optimización de la CS centralizada corresponde a un problema de vendedor de periódicos con costo unitario excedente $c_e = \sum_i^n c_i - s$ y costo unitario faltante $c_s = p - \sum_i^n c_i$.

$$Q_c = F^{-1}\left(\frac{c_s}{c_s + c_e}\right) = F^{-1}\left(\frac{p - \sum_i^n c_i}{p - s}\right) \quad (72)$$

Para el caso de la distribución uniforme continua con límites $[L, U]$, se tiene:

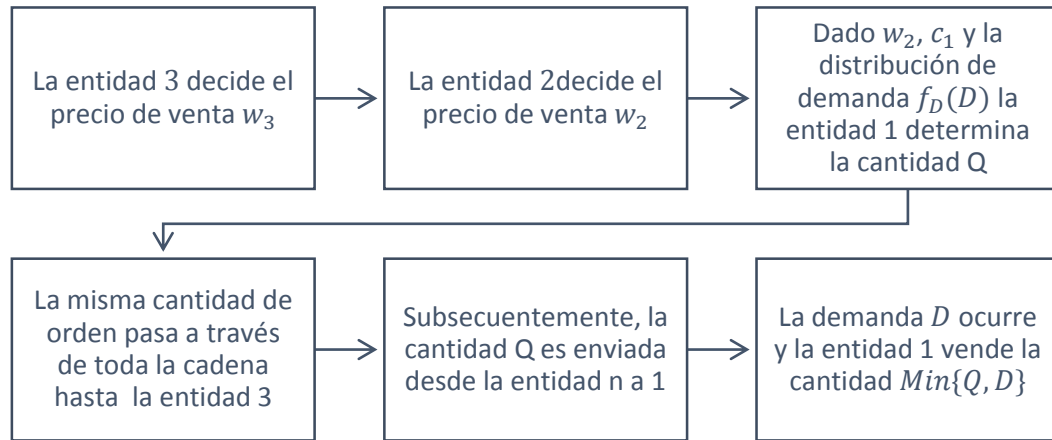
$$Q_c = L + (U - L) \left(\frac{p - \sum_i^n c_i}{p - s}\right) \quad (73)$$

8.5 MODELAMIENTO DEL ESCENARIO DESCENTRALIZADO

En esta sección se modela el comportamiento de la cadena de suministro cuando los agentes interactúan de manera independiente y optimizan su propio desempeño, para esto, se asume un comportamiento líder-seguidor, un juego secuencial es implementado para determinar el equilibrio de Stackelberg del sistema, bajo esta solución, los eslabones no tienen ningún incentivo para desviarse de los valores determinados.

La secuencia de toma de decisiones en la cadena de suministro es la siguiente:

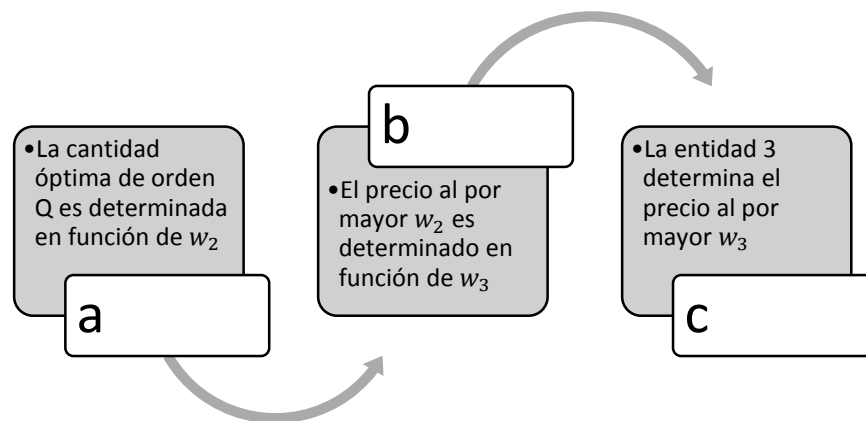
Ilustración 15. Secuencia de toma de decisiones en el modelo propuesto



Fuente: Elaboración propia

El problema es resuelto mediante la técnica de inducción hacia atrás, este procedimiento consiste en determinar las decisiones óptimas de adelante hacia atrás con base en la secuencia de toma de decisiones.

Ilustración 16. Proceso de inducción hacia atrás del modelo propuesto



Fuente: Elaboración propia

Considérese el problema:

$$\begin{aligned} \max_{w_3^d} \Pi_3^d &= (w_3^d - c_3)Q_d \\ \text{s.t. } \max_{w_2^d} \Pi_2^d &= (w_2^d - w_3^d - c_3)Q_d \\ \text{s.t. } \max_{Q_d} \Pi_1^d &= E_D[p \cdot \text{Min}\{Q_d, D\} - (w_2^d + c_1)Q_d + s(Q_d - D)^+] \end{aligned}$$

a) Óptimo del eslabón 1

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_1^d}{\partial Q_d} &= 0 \\ Q_d &= L + (U - L) \left(\frac{p - c_1 - w_2^d}{p - s} \right) \end{aligned}$$

b) Óptimo del eslabón 2

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_2^d}{\partial w_2^d} &= 0 \\ w_2^d &= \frac{p \cdot U - s \cdot L + (U - L)(c_2 + w_3^d - c_1)}{2(U - L)} \end{aligned}$$

c) Óptimo del eslabón 3

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_3^d}{\partial w_3^d} &= 0 \\ w_3^d &= \frac{p \cdot U - s \cdot L + (U - L)(c_3 - c_2 - c_1)}{2(U - L)} \end{aligned}$$

d) Equilibrio de Stackelberg resultante:

$$Q_d = L + (U - L) \left(\frac{p - c_1 - w_2^d}{p - s} \right) \quad (74)$$

$$w_2^d = \frac{3(pU - sL) + (U - L)(c_3 + c_2 - 3c_1)}{4(U - L)} \quad (75)$$

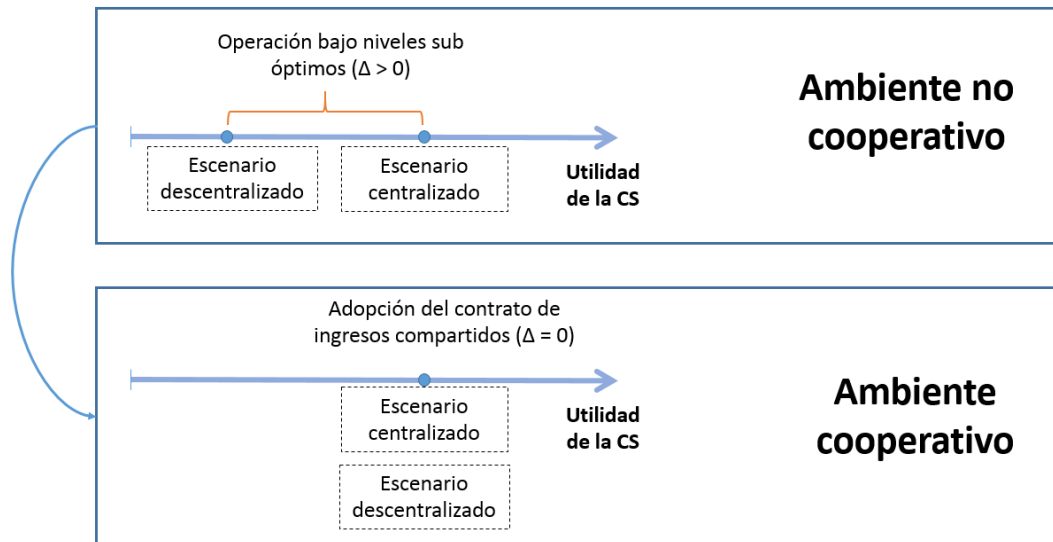
$$w_3^d = \frac{p \cdot U - s \cdot L + (U - L)(c_3 - c_2 - c_1)}{2(U - L)} \quad (76)$$

8.6 CONTRATO DE INGRESOS COMPARTIDOS

La modelación del escenario centralizado y descentralizado proporciona una idea sobre el estado actual de la cadena de suministro, lo que permite obtener un diagnóstico sobre la diferencia entre el estado óptimo posible y el desempeño actual. El objetivo es aliviar esta diferencia, mediante la adopción del contrato de

ingresos compartidos, haciendo que el escenario descentralizado alcance un nivel de desempeño igual o cercano al del escenario centralizado.

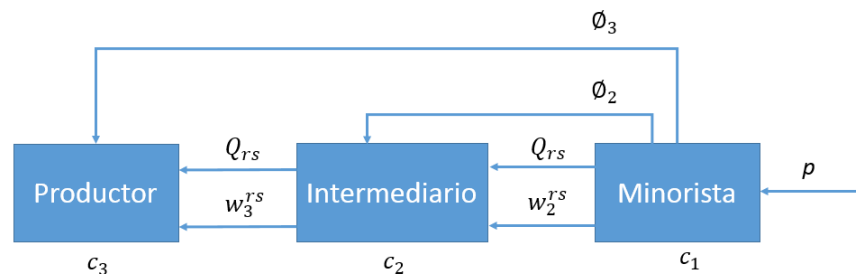
Ilustración 17. Transición del ambiente no cooperativo al cooperativo



Fuente: Elaboración propia

El contrato de ingresos compartidos propuesto funciona bajo la estructura del contrato de ingresos compartidos de abarcamiento, propuesto por (Van der Rhee et al., 2010), en el cual, los ingresos compartidos son distribuidos por un solo miembro de la cadena de suministro, contrario a la estructura tradicional por parejas, donde cada par de eslabones realiza un contrato aparte. A diferencia de la formulación inicial del autor, esta contiene ingresos por venta de producto sobrante.

Ilustración 18. Representación del contrato de ingresos compartidos de abarcamiento



Fuente: Elaboración propia

8.6.1 Contrato de ingresos compartidos de abarcamiento

$$\prod_1^{rs} = E_D \left[\left((1 - \sum \phi_i) p \cdot \text{Min}\{Q_{rs}, D\} + (1 - \sum \phi_i) s(Q_{rs} - D)^+ \right) - (w_2^{rs} + c_1) Q_{rs} \right] \quad (77)$$

$$\prod_1^{rs} = \left((1 - \sum \phi_i) p - w_2^{rs} - c_1 \right) Q_{rs} + (1 - \sum \phi_i) s(Q_{rs} F(Q_{rs}) - G(Q_{rs})) + (1 - \sum \phi_i) p(G(Q_{rs}) - Q_{rs} F(Q_{rs})) \quad (78)$$

$$\prod_2^{rs} = (w_2^{rs} - w_3^{rs} - c_2) Q_{rs} + \phi_2 p Q_{rs} + \phi_2 s(Q_{rs} F(Q_{rs}) - G(Q_{rs})) + \phi_2 p(G(Q_{rs}) - Q_{rs} F(Q_{rs})) \quad (79)$$

$$\prod_3^{rs} = (w_3^{rs} - c_3) Q_{rs} + \phi_3 p Q_{rs} + \phi_3 s(Q_{rs} F(Q_{rs}) - G(Q_{rs})) + \phi_3 p(G(Q_{rs}) - Q_{rs} F(Q_{rs})) \quad (80)$$

$$\prod_{sc}^{rs} = \left(p - \sum_i^n c_i \right) Q_{rs} + s[Q_{rs} F(Q_{rs}) - G(Q_{rs})] + p(G(Q_{rs}) - Q_{rs} F(Q_{rs})) \quad (81)$$

8.6.2 Solución del contrato

Se dice que, el CIC tiene solución, si y solo si, el conjunto ω de soluciones $\langle w_2^{rs}, w_3^{rs}, \phi_1, \phi_2 \rangle$, es un conjunto no vacío.

La solución del CIC implica el alcance de dos objetivos clave en el estudio de la coordinación de la cadena suministro: la utilidad de la CS descentralizada bajo el CIC es igual al de la CS centralizada y cada eslabón recibe una utilidad mayor a aquella obtenida en el escenario descentralizado.

En este trabajo, se realiza el siguiente procedimiento para hallar una solución general al contrato:

- i. Determinar las condiciones bajo las cuales $Q_{rs} = Q_c$.
- ii. Proponer método de fijación de precios colaborativo.
- iii. Formular un escenario gana-gana para los eslabones de la cadena de suministro.

- iv. Determinar los valores \emptyset_1 y \emptyset_2 del CIC.

8.6.2.1 Determinar las condiciones para alcanzar la utilidad óptima

De acuerdo a las ecuaciones de utilidad total de la CS del escenario centralizado y del CIC, es posible inferir que estas son exactamente iguales y que la única variable que afecta a ambas ecuaciones es el tamaño de lote de pedido. Por lo tanto, es necesario deducir las condiciones bajo las cuales ambos tamaños de pedido son iguales y consecuentemente, se logra igualar ambas utilidades.

$$Q_c = L + (U - L) \left(\frac{p - \sum_i^n c_i}{p - s} \right), \quad Q_{rs} = L + (U - L) \left(\frac{p - c_1 - w_2^{rs}}{p - s} \right)$$

$$Q_{rs} = Q_c, \text{ si y solo sí, } w_2^{rs} = c_2 + c_3 \quad (82)$$

Esta condición es necesaria para la coordinación de la CS, por esta razón, la variable w_2^{rs} , se considera resuelta para ω .

8.6.2.2 Proponer un método de fijación de precios colaborativo

Existen distintas formas de establecer precios para los ambientes cooperativos, cada formulación tiene implicaciones que van desde el efecto que tiene en la utilidad individual y global y la solución general para las variables \emptyset_1 y \emptyset_2 al cual conduce. La siguiente formulación es la que se utiliza en la solución del contrato:

$$w_i^{rs} = c_i$$

Se sabe que, $w_2^{rs} = c_2 + c_3$, por lo tanto, sólo w_3^{rs} es sujeta a modificaciones.

8.6.2.3 Formular una solución gana-gana.

Se pueden representar varios escenarios gana-gana, en la formulación propuesta, los eslabones obtienen la misma cantidad de utilidad adicional más la utilidad obtenida en el escenario descentralizado, de este modo se garantiza que cada eslabón obtendrá una utilidad mayor a la que puede lograr sin el contrato.

$$\prod_i^{rs} = \prod_i^d + \frac{\Pi_i^c - \Pi_i^d}{n} \quad \forall i \in \{1,2,3\} \quad (83)$$

El sistema de ecuaciones no lineales resultante debe ser resuelto para las variables \emptyset_1 y \emptyset_2 .

8.6.2.4 Determinar los valores de las variables del contrato

Dadas las ecuaciones anteriores, se tiene el siguiente sistema de ecuaciones no lineales:

$$\begin{aligned} w_2^{rs} &= c_2 + c_3 \\ w_3^{rs} - c_3 &= 0 \\ \Pi_1^{rs} &= \Pi_1^d + \frac{\Pi_1^c - \Pi_1^d}{3} \\ \Pi_2^{rs} &= \Pi_2^d + \frac{\Pi_2^c - \Pi_2^d}{3} \\ \Pi_3^{rs} &= \Pi_3^d + \frac{\Pi_3^c - \Pi_3^d}{3} \end{aligned}$$

Al resolver este sistema de ecuaciones para las variables ϕ_1 y ϕ_2 (ver Anexo Digital 2), se obtiene:

$$\phi_1 = \frac{\frac{\Pi_2^c - \Pi_2^d}{3} + \Pi_2^d}{pQ_{rs} + s[Q_{rs}F(Q_{rs}) - G(Q_{rs})] + p[G(Q_{rs}) - Q_{rs}F(Q_{rs})]} \quad (84)$$

$$\phi_2 = \frac{\frac{\Pi_3^c - \Pi_3^d}{3} + \Pi_3^d}{pQ_{rs} + s[Q_{rs}F(Q_{rs}) - G(Q_{rs})] + p[G(Q_{rs}) - Q_{rs}F(Q_{rs})]} \quad (85)$$

9. CASO DE ESTUDIO

Para la aplicación del modelo propuesto se plantea un caso de estudio en la cadena de suministro cítrica del centro del Valle del Cauca.

Durante los últimos años, la región del Valle del Cauca ha experimentado un aumento de las hectáreas dedicadas a las plantaciones frutícolas, así como el surgimiento de una industria dedicada a las actividades de procesamiento y comercialización de estos productos, brindando nuevas oportunidades de desarrollo económico para la región y ofreciendo una alternativa para la diversificación de la agricultura en el departamento.

Las retribuciones en materia económica y social de la inversión en este tipo de cultivo ha llamado la atención de diversos grupos de interés en la región, por una parte, las agencias del gobierno han hecho explícito su interés para impulsar toda la cadena de valor de estos productos, y aprovechar no solo las bondades endoclimáticas del valle geográfico del río Cauca, sino también, acelerar la agroindustria en torno a los productos derivados de las frutas, por otro lado, las asociaciones de productores han insistido en mayores esfuerzos por parte del gobierno para proporcionar mecanismos que resulten en el mejoramiento de la productividad y mayores expectativas económicas, el gremio empresarial vallecaucano, fuertemente influenciado por el sector cañero ha planteado su propósito de brindar el apoyo necesario para el establecimiento de un sector frutícola líder en el país, y ha hecho énfasis en las oportunidades de sinergia de tener en el Valle del Cauca una industria azucarera fuerte y una despensa frutícola nacional, lo cual, según estos, podría dar como resultado un sector agrícola más resiliente y capaz de aprovechar la mayor parte de las tierras de la región, por último, desde diversas organizaciones sin ánimo de lucro y la academia se ha venido comentando sobre el vasto conjunto de posibilidades para crear en el departamento, un clúster frutícola capaz de impulsar la economía e integrarse con los demás sectores de la región.

El panorama alentador que vive la región se ve reflejado en los reportes de diversas organizaciones que resaltan la vocación frutícola del departamento y el diverso conjunto de posibilidades, por esta razón, los grupos de interés insisten en clasificar este sector como un pilar de desarrollo del Valle del Cauca. Este panorama resulta propicio para la propuesta de mecanismos que impulsen el desempeño del sector.

Un elemento importante del sector frutícola son las cadenas de suministro que forjan cada uno de los productos, el estudio de estas, permite identificar los problemas del sector bajo un enfoque holístico y no bajo una lupa reduccionista a nivel de la organización. Enmarcado en los planes de desarrollo de fortalecimiento del sector, se han identificado los principales factores y elementos presentes en un ejemplo de cadena de suministro de este sector, específicamente, se expone el caso de la cadena de cítricos de la región centro del Valle del Cauca.

Las relaciones existentes en estas cadenas de suministro difícilmente pueden ser rastreadas con precisión y exhaustividad, para esto, una aproximación a esta ha sido desarrollada como se presenta a continuación.

Los agricultores producen los cítricos durante todo el año, estos reportan que los costos de producción por cada kilogramo de fruta son de \$500, este costo variable incluye los costos de fertilizantes, agroquímicos y mano de obra. Los productores son en su mayoría de pequeño tamaño y las negociaciones son generalmente lideradas por los intermediarios quienes establecen la cantidad a comprar, mientras los productores tienen la decisión final sobre el precio, el cual, a pesar de tener unas pocas variaciones entre los precios ofertados por los diferentes productores, se comporta de manera proporcional al precio de mercado. A pesar de la aparente dispersión de los productores, su relativa homogeneidad permite que para objetivos de análisis estos sean observados como una sola entidad.

Una vez la fruta es adquirida por los intermediarios. Los costos variables que enfrenta un intermediario promedio son de \$550 por kilogramo, estos son constituidos por costos de transporte y tratamiento pos-cosecha de la fruta. Las relaciones entre el intermediario y el minorista son un poco más formales y la diferencia de poder de negociación, aunque mayor por parte de los minoristas, no es tan notoria como en la interfaz de productor – intermediario.

La demanda de los cítricos frescos representa una baja variabilidad, según información proporcionada por un minorista importante de la región, esta se comporta aproximadamente, de acuerdo a una distribución uniforme continua, donde el valor mínimo esperado es 1000 kg/semanales y la demanda nunca supera los 1500 kg semanales. Información de la canasta familiar indica que el precio del limón oscila alrededor de los 1800 \$/kg durante la mayor parte del año. A partir de la información de demanda, precios y costos, los minoristas deciden cuánta cantidad de fruta adquirir. El limón que no es vendido, puede ser liquidado por un valor de salvamento de \$500 por kg. Los costos variables por venta de kilogramo de limón del minorista son de aproximadamente \$600 por kg.

Un grupo conformado por empresarios que representan al sector minorista, intermediarios y productores han conformado un comité denominado COMCAF Valle del Cauca, el cual significa Comité de Observación y Mejoramiento de la Cadena Frutícola del Valle del Cauca, el cual tiene como objetivo impulsar la productividad y utilidad de la cadena de suministro frutícola en la región. Estos han visto en la cadena del limón proyectos potenciales para mejorar el desempeño global de la cadena, los representantes de los empresarios minoristas han dicho que, enmarcado en sus programas de responsabilidad social empresarial, están interesados en acceder y soportan los programas que el comité determine como factibles, sin embargo, estos deberán demostrar ser beneficiosos para estos también, y no solo para los intermediarios, y en especial, los productores quienes

son los más interesados en los proyectos del comité. Así que el mecanismo propuesto debe considerar elementos de gana-gana.

El comité ha contratado a un grupo de expertos para proponer un proyecto que pueda mejorar los resultados globales de la cadena. A estos se les ha indicado los dos proyectos que inicialmente habían sido discutidos en las reuniones: primero, un plan de financiamiento con tasas de interés preferenciales mediante el apoyo de Finagro, el cual, puede potencialmente, mejorar las capacidades operativas de los productores y generar valor a lo largo de la cadena; segundo, un programa de colaboración a lo largo de la cadena de suministro.

El informe parcial del grupo de expertos ha dado las siguientes indicaciones sobre cada uno de los proyectos:

- El proyecto de inversión en las capacidades operativas parece más un plan de inversión pensado para los productores que para el sector, además, los resultados producto de este proyecto tardarían un largo tiempo en demostrar si hubo un efecto positivo en cada uno de los elementos de la cadena y el sistema como conjunto. No se descartan los posibles beneficios de un adecuado plan de inversión en los productores, sin embargo, no se puede considerar un proyecto con miras a mejorar el desempeño del sector.
- El proyecto de colaboración, aunque abstracto al ser presentado, presenta mayores señales de factibilidad. Se hace hincapié en el vasto grupo de posibles proyectos de colaboración que podrían ser implementados, así como la capacidad de estos para cumplir con las restricciones de mejoramiento del desempeño local y global. El grupo de expertos, le da vía al proyecto de colaboración, sin especificar el tipo de mecanismo a implementar.

El comité está ansioso por conocer los detalles de un mecanismo que pueda resultar en mejores resultados económicos para la cadena y cada uno de los integrantes de la cadena, para lo cual, el grupo de expertos debe brindar una propuesta de solución y ha decidido utilizar el modelo propuesto en este trabajo.

9.1 APLICACIÓN DE LA PROPUESTA

Para el caso de estudio anterior, se aplica el contrato de ingresos compartidos propuesto. Los cálculos numéricos son desarrollados mediante el apoyo del lenguaje de programación R (ver Anexo Digital 3)

Los parámetros del modelo pueden ser encontrados en el caso de estudio y se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 3. Resumen de parámetros

Parámetro	Valor
p	1800 \$/kg
s	500 \$/kg
$[L, U]$	[1000, 1500] Unidades
Conjunto de costos c_i	{600, 550, 500} \$

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la probabilidad acumulada y valor medio de la distribución truncada de la distribución uniforme continua, son calculados de la siguiente manera:

$$F_D(Q) = \int_L^Q f_D(D) dD = \frac{Q-L}{U-L}, \quad G_D(Q) = \int_L^Q D f_D(D) dD = \frac{Q^2-L^2}{2(U-L)}$$

La aplicación de las ecuaciones desarrolladas para los escenarios centralizados y descentralizados conduce a los siguientes resultados. Donde Q^* es el tamaño óptimo de pedido, π_{cs} es la utilidad y las diferencias son relativas al valor óptimo de la medida de comparación.

Tabla 4. Comparación del escenario centralizado vs descentralizado

	Escenario Centralizado	Escenario Descentralizado
Q^*	1057.7 unidades	264.42 unidades
π_{cs}	\$154,327	-\$66,3732
ΔQ	0	793.3 unidades
$\Delta Q\%$	0	75%
$\Delta \pi_{cs}$	0	818,059 unidades
$\Delta \pi_{cs}\%$	0	530%

Fuente: Elaboración propia

Estos valores corroboran la optimalidad del escenario centralizado y desempeño notoriamente inferior del escenario descentralizado.

Los coeficientes de distribución de ingresos, son $\phi_2 = 23.9259\%$ y $\phi_3 = 33.49627\%$, lo cual indica que el minorista, retiene cerca del 43% de los ingresos ($1 - \phi_1 - \phi_2$).

Dos conjuntos de valores son de interés para la coordinación de la cadena de suministro, la utilidad de la cadena de suministro y aquella de los eslabones de la cadena. Una vez la condición **(19)** es satisfecha, es posible garantizar que $Q_{ic} = Q_c$,

y por lo tanto, la utilidad total de la CS con el contrato es igual a la utilidad de la CS centralizada.

Tabla 5. Comparación de resultados

	Escenario Centralizado	Escenario Descentralizado	Contrato de Ingresos Compartidos
Q^*	1057.7 unidades	264.42 unidades	1057.7 unidades
π_{cs}	\$154,327	-\$66,3732	\$154,327
ΔQ	0	793.3 unidades	0
$\Delta Q\%$	0	75%	0
$\Delta \pi_{cs}$	0	818,059 unidades	0
$\Delta \pi_{cs}\%$	0	530%	0

Fuente: Elaboración propia

Los valores de ϕ_1 y ϕ_2 conllevan a los siguientes niveles de utilidad de los eslabones mediante la adaptación del CIC. La sigla EDNC significa escenario descentralizado no cooperativo y la sigla EDC indica escenario descentralizado cooperativo.

Tabla 6. Comparación del desempeño de los eslabones en el EDNC vs EDC

	Utilidad EDNC	Utilidad EDC	$\Delta \pi$	$\Delta \pi\%$
Eslabón 1	-\$1,209,105	-\$936418.3	\$272686.3	22.55%
Eslabón 2	\$181,791	\$454477.2	\$272686.3	150%
Eslabón 3	\$363,582	\$636268.0	\$272686.3	75%
Cadena de suministro	-\$663,732	\$154326.9	\$818058.9	123.25%

Fuente: Elaboración propia

Existe un aumento en los niveles de utilidad de todos los eslabones y la utilidad de CS centralizada es igual aquella de la CS con el CIC. Por lo tanto, es correcto afirmar que el CIC coordina la CS.

10. ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos demuestran que el propósito inicial del mecanismo de coordinación es alcanzado, es decir, en efecto, el contrato de ingresos compartidos de abarcamiento de la cadena de suministro frutícola logra coordinar la cadena y mejorar el desempeño de cada uno de los eslabones. Sin embargo, varias preguntas quedan abiertas durante el desarrollo del proyecto, algunas de estas respecto a los supuestos durante la modelación y otros, sobre las implicaciones de la solución. En esta parte del trabajo se realiza un análisis de sensibilidad para responder a las inquietudes que surgen una vez obtenidos los cálculos numéricos, se realiza un análisis empírico de los resultados obtenidos en el caso de estudio, específicamente, se estudia el impacto de las fluctuaciones de precios y cambios en la demanda en las funciones de desempeño, además, se realiza un breve contraste entre el modelo propuesto y otros enfoques de la literatura que se utilizaron como referentes.

10.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En esta parte del capítulo se realiza un análisis de sensibilidad de los resultados, dos enfoques son implementados: se analizan las ecuaciones resultantes y se muestran ilustraciones gráficas como tablas y graficación de funciones. Se analizan en orden: la desviación del tamaño de orden, la desviación de los niveles de utilidad, la incidencia de los precios en la utilidad y los efectos de las variaciones de la demanda.

10.1.1 Análisis de la desviación del tamaño de orden de la cadena

La desviación del tamaño de orden del escenario descentralizado y centralizado, hace referencia al diferencial entre estos dos. El diferencial en términos absolutos, es representado mediante la ecuación (86), esta expresión proporciona información sobre cuán ineficiente puede ser el escenario descentralizado, entendiendo la ineficiencia como el grado en que el escenario descentralizado se aleja del óptimo de desempeño, y si hay o no un punto bajo el cual los dos escenarios se comportan igual sin necesidad de coordinación.

Del modelo propuesto, se sabe que los tamaños de orden para el escenario centralizado y descentralizado colaborativo están dados por:

$$Q_c = L + (U - L) \left(\frac{p - \sum_i^n c_i}{p - s} \right), \quad Q_{rs} = L + (U - L) \left(\frac{p - c_1 - w_2^{rs}}{p - s} \right)$$

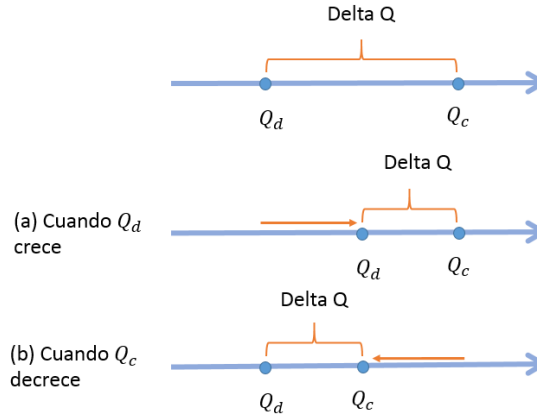
Donde,

$$w_2^d = \frac{3(pU - sL) + (U - L)(c_3 + c_2 - 3c_1)}{4(U - L)}$$

$$Q_c - Q_d = \frac{3[pU - sL - (U - L) * \sum_i^n c_i]}{4 * (p - s)} \quad (86)$$

Del diferencial se puede deducir que, cuando se aumentan los costos de la cadena de suministro, este diferencial disminuirá, y por lo tanto, será menos ineficiente la CS descentralizada, esto resulta un poco contra intuitivo ya que mayores costos no deberían conducir a menores ineficiencias, aquí vale la pena notar que las disminuciones de delta Q se deben a dos casos, (a) cuando Q_d se mueve hacia la derecha y (b) cuando Q_c se mueve hacia la izquierda.

Ilustración 19. Representación de los cambios de delta Q



Fuente: Elaboración propia

Las reducciones de delta Q debidas al aumento de los costos de la cadena de suministro corresponden al caso (b), por lo tanto, se deben revisar con atención las disminuciones de delta Q, puesto que la disminución de las ineficiencias no necesariamente conduce a mejores resultados.

La incidencia de los factores p , s y $[U, L]$, resultan un poco más complicados de deducir solo mirando la ecuación, por esto, se analiza el diferencial en términos porcentuales, dividiendo el tamaño de orden centralizado sobre el tamaño de orden descentralizado.

$$\frac{Q_c}{Q_d} = 4 \quad (87)$$

Esta expresión simplifica el análisis, indicando que Q_c siempre será 4 veces mayor que Q_d , los siguientes análisis empíricos comprueban este enunciado, en estos, se

realizan variaciones a p y s , manteniendo todos los demás parámetros constantes. (ver Anexo Digital 4 y Anexo Digital 5)

Tabla 7. Análisis de delta Q variando p

Precio	Tamaño de Orden Centralizado	Tamaño de Orden Descentralizado	Qc - Qd	Qc/Qd
1800	1057.69231	264.423077	793.269231	4
1810	1061.0687	265.267176	795.801527	4
1820	1064.39394	266.098485	798.295455	4
1830	1067.66917	266.917293	800.75188	4
1840	1070.89552	267.723881	803.171642	4
1850	1074.07407	268.518519	805.555556	4
1860	1077.20588	269.301471	807.904412	4
1870	1080.29197	270.072993	810.218978	4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Análisis de delta Q variando s

Precio de Salvamento	Tamaño de Orden Centralizado	Tamaño de Orden Descentralizado	Qc - Qd	Qc/Qd
500	1057.69231	264.423077	793.269231	4
510	1058.13953	264.534884	793.604651	4
520	1058.59375	264.648438	793.945313	4
530	1059.05512	264.76378	794.291339	4
540	1059.52381	264.880952	794.642857	4
550	1060	265	795	4
560	1060.48387	265.120968	795.362903	4
570	1060.97561	265.243902	795.731707	4

Fuente: Elaboración propia

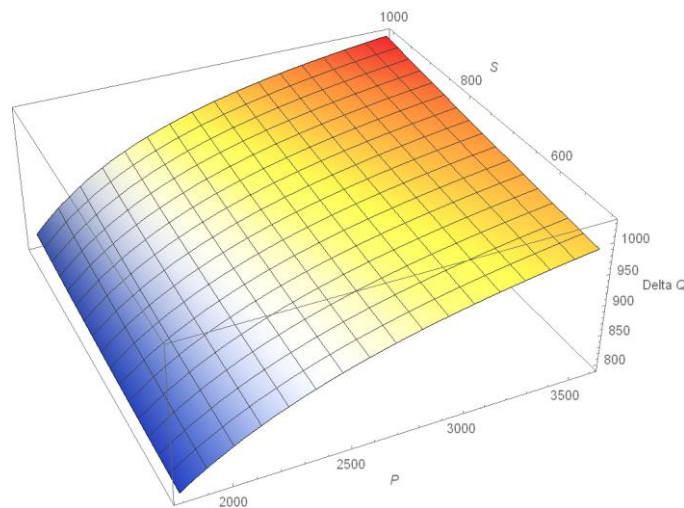
Las tablas 7 y 8 conllevan a una primera idea sobre cuán representativos son los cambios de p y s en las medidas de desempeño, variaciones en p de [1800 a 1870] conducen a cambios en delta Q de [793.3 a 810.2], mientras que las variaciones en s de [793.3 a 795.7], con lo cual es posible señalar que delta Q es mucho más sensible a las variaciones en p que en s . Esto tiene sentido en la vida real, puesto que los resultados dependen más del precio del mercado que del precio de salvamento que ha de servir solo como una forma de pérdidas bajas o nulas.

10.1.1.1 Representación gráfica

Con ayuda del software Wolfram Mathematica es posible representar gráficamente la función de delta Q en términos de p y s manteniendo los valores de U y L constantes (ver Anexo Digital 6).

Se observa nuevamente que la superficie creciente representada en la ilustración 20, crece más a razón de p, y que s solo proporciona pequeños aumentos a delta Q.

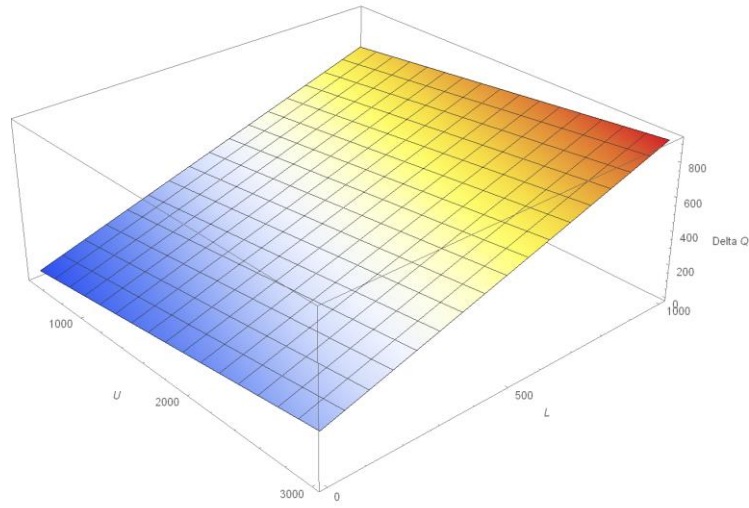
Ilustración 20. Análisis de $\Delta Q(p,s)$



Fuente: Elaboración propia

El plano de delta Q en términos de L y U presenta una dominancia de L, se puede apreciar que el crecimiento de la función depende en mayor grado de L que de U.

Ilustración 21. Análisis de $\Delta Q(L,U)$



Fuente: Elaboración propia

10.1.2 Análisis del diferencial de la utilidad de la cadena

De manera análoga al subtítulo anterior, la desviación de la utilidad del escenario centralizado y descentralizado es analizada para comprender las ineficiencias del escenario descentralizado modelado, nótese que este diferencial es el que debe solventar el contrato de ingresos compartidos y distribuir entre los eslabones para alcanzar la solución gana-gana.

Es sabido que, para los escenarios centralizado y descentralizado, las ecuaciones de utilidad, están dadas, respectivamente por:

$$\prod_{sc}^c = \left(p - \sum_i^n c_i\right) Q_c + s[Q_c F(Q_c) - G(Q_c)] + p[G(Q_c) - Q F(Q_c)]$$

$$\prod_{sc}^d = \prod_1^d + \prod_2^d + \prod_3^d$$

Donde

$$\begin{aligned}\prod_1^d &= E_D[p \cdot \text{Min}\{Q_d, D\} - (w_2^d + c_1)Q_d + s(Q_d - D)^+] \\ \prod_2^d &= (w_2^d - w_3^d - c_3)Q_d \\ \prod_3^d &= (w_3^d - c_3)Q_d\end{aligned}$$

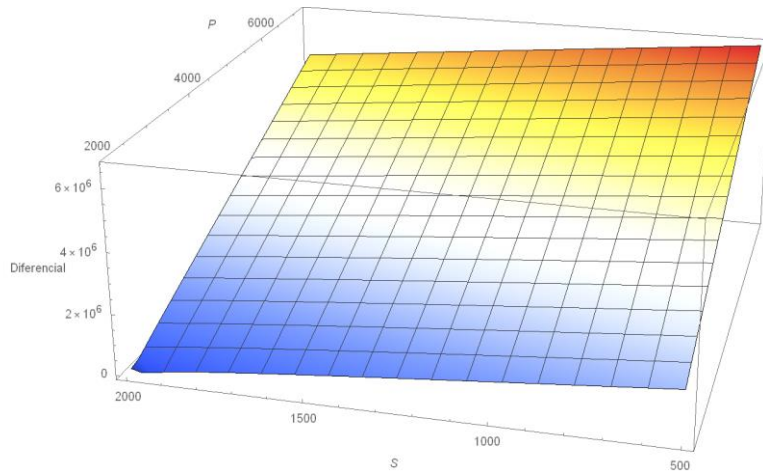
Dadas estas ecuaciones, el diferencial de la utilidad está representado por:

$$\prod_{sc}^c - \prod_{sc}^d = * (p - s) * (G(Q_c) - G(Q_d)) + Q_c * \left(p - \sum_i^n c_i - F(Q_c) * (p - s) \right) - Q_d * \left(p - \sum_i^n c_i - F(Q_d) * (p - s) \right) \quad (88)$$

La ecuación 88, es analizada para dos casos: primero como una función de p y s, y segundo, como una función de L y U.

10.1.2.1 Análisis de $\Delta\pi(p, s)$

Ilustración 22. Análisis de $\Delta\pi(p,s)$



Fuente: Elaboración propia

Al igual que en el análisis $\Delta Q(p, s)$ se observa un mayor crecimiento de la función en p que en s, pero en este caso la superficie es plana y no curva.

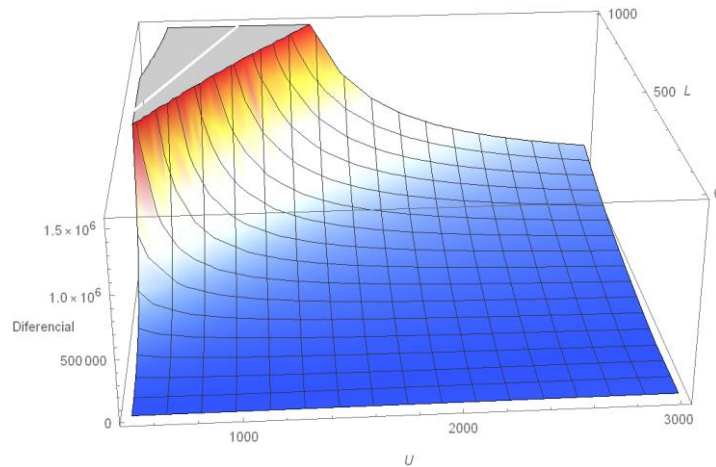
10.1.2.2 Análisis de $\Delta\pi(U, L)$

Obsérvese que la función presenta un valor muy bajo en la mayor parte del eje vertical, y solo a partir de $L > 500$ y $U < 2200$ crece de manera significativa, precisamente cuando el rango $U - L$ se vuelve más estrecho, y cuando se convierte demasiado pequeño con $U - L = 0$, la función crece indeterminadamente y ocurren las indeterminaciones señaladas con el color gris. Esto se debe a que la ecuación (88), corresponde a una expresión más larga cuando los términos $G(Q_c)$ y $G(Q_d)$ son introducidos en ella. Esta nueva ecuación es larga y difícil de simplificar, por lo cual se maneja mediante las herramientas algebraicas computacionales de Wolfram Mathematica, se obtiene que la ecuación está dada por un cociente donde el denominador, el cual es la parte que determina los valores indeterminados, es:

$$32(s - p)(U - L) \quad (89)$$

Con lo cual, se explica que la zona gris se debe a todos los valores para los cuales $U - L$ es aproximadamente igual a 0.

Ilustración 23. Análisis de $\Delta\pi(U,L)$



Fuente: Elaboración propia

10.1.3 Análisis de las fluctuaciones de los precios

Los ingresos recibidos por los miembros de la CS bajo el contrato, pueden ser divididos en tres tipos: ingresos ordinarios, ingresos por venta de producto sobrante e ingresos compartidos; los primeros corresponden al dinero que recibe el eslabón por el intercambio comercial de productos, los siguientes hacen referencia a los ingresos por concepto de venta de producto excedente y los últimos, se obtienen cuando un eslabón recibe ingresos producto del contrato. Es de notar que la estrategia de fijación de precios colaborativa establece que $w_i^{rs} = c_i \quad \forall i \in \{2,3\}$, lo cual significa que los eslabones 2 y 3 no obtendrán ningún ingreso ordinario, ni ingresos por venta de producto excedente ya que el riesgo del mercado es inicialmente enfrentado solo por el eslabón 1. El hecho de que los eslabones 2 y 3 solo obtengan ingresos compartidos del eslabón 1, significa que todos los ingresos de la cadena, dependen de los ingresos ordinarios y de venta de producto excedente del eslabón 1, y hace que p y s sean valores críticos en el desempeño de la cadena. ¿Cómo se comportan las funciones de utilidad cuando estos precios varían? Y ¿qué tan robusta es la solución del contrato respecto a estas variaciones?, son preguntas que surgen cuando se considera la dependencia de los ingresos totales de la cadena en los ingresos ordinarios del minorista. Para responder a estas preguntas, se desarrolla un análisis que contrasta las variaciones de p y s con los efectos de este en la función de utilidad de la cadena. Primero se

realiza un análisis de las variaciones de la utilidad como una función de p, y de manera consecuente, se analiza para s.

10.1.3.1 Efecto de las variaciones de p

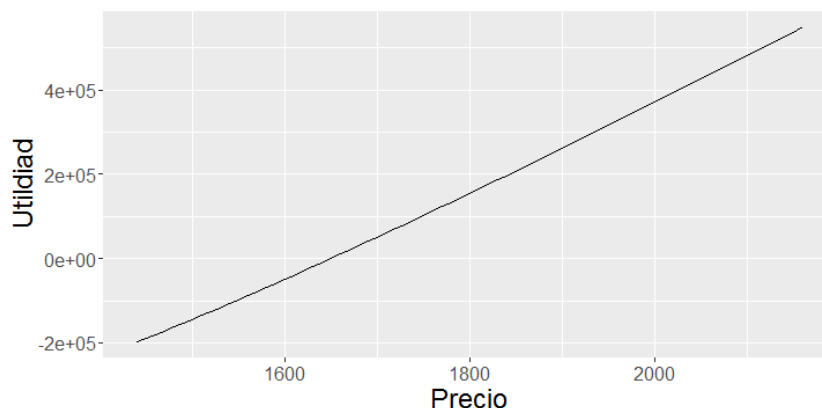
La tabla 9 indica cómo varía la utilidad respecto a los cambios en el precio de venta al mercado. Las variaciones de la utilidad respecto a p son altamente significativas, una disminución del 5.6% del precio resultará en una disminución del 67% de las utilidades. Se dice que la utilidad es altamente sensible a las variaciones de p (ver Anexo Digital 7)

Tabla 9. Efecto de las variaciones de p en la utilidad

Precio	1600	1700	1800	1900	2000
Variación porcentual de p	-11.1%	-5.6%	0.0%	5.6%	11.1%
Utilidad	-49432	50521	154327	261161	370417
Variación porcentual de la utilidad	-132%	-67%	0%	69%	140%

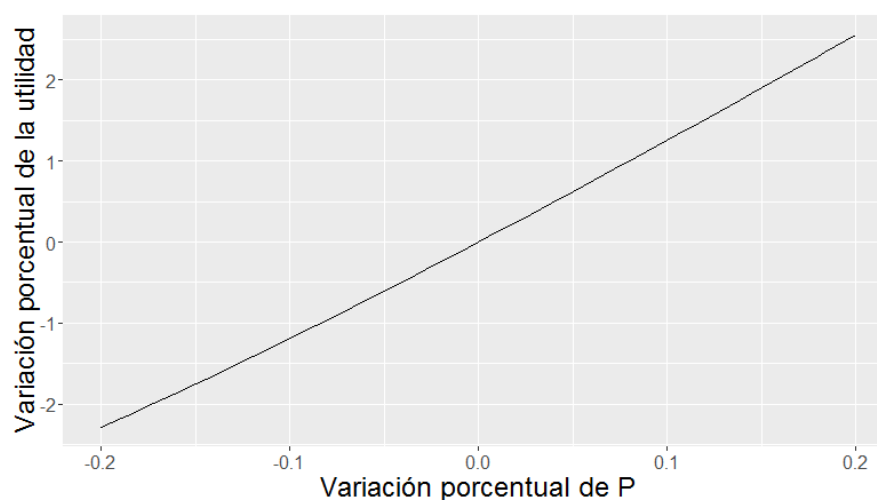
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24. Precio vs utilidad de la CS



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 25. Variación porcentual de p vs variación porcentual de la utilidad de la CS



Fuente: Elaboración propia

10.1.3.2 Efecto de las variaciones en s

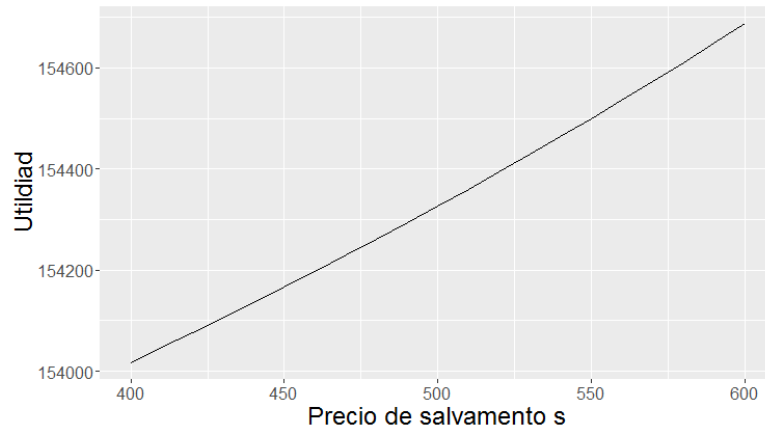
Al igual que en delta Q, s tiene un menor grado de incidencia en la función de desempeño que p . Una disminución del 20% de p representa una disminución de más del 200% de la utilidad, mientras que la misma disminución proporcional en s , solo genera una disminución del 0.2% en la utilidad. Es posible argumentar que el valor de s es insignificante para las variaciones en la utilidad, y los esfuerzos por hacer el modelo más robusto a los cambios deben concentrarse en p (ver Anexo Digital 8)

Tabla 10. Efecto de las variaciones de s en la utilidad

Valor de salvamento	400	450	500	550	600
Variación porcentual de s	-20%	-10%	0.0%	10%	20%
Utilidad	154018	154167	154327	154500	154688
Variación porcentual de la utilidad	-0.20%	-0.104%	0.%	0.112%	0.234%

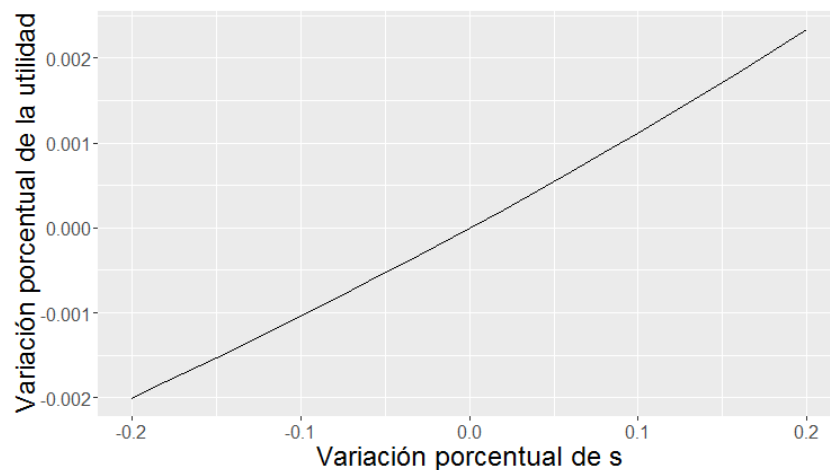
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 26. Precio de salvamento vs utilidad de la CS



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 27. Variación porcentual de s vs variación porcentual de la utilidad de la CS



Fuente: Elaboración propia

10.1.4 Efecto de contracciones en la demanda

La distribución de probabilidad continua uniforme presenta dos parámetros, L y U, los cuales representan el límite inferior y superior respectivamente. La demanda junto al precio de venta, son los dos factores más importantes en la consecución de ingresos, de manera análoga al título anterior, en esta parte, se analiza el efecto de los cambios de la demanda en la función de utilidad de la cadena. Se intenta

responder a la pregunta, ¿qué sucede cuando los parámetros de la demanda varían? (ver Anexo Digital 9)

Esta expresión puede ser representada mediante la función de utilidad como función de L y U.

$$\prod_{sc}^c(L, U) = \left(p - \sum_i^n c_i \right) Q_c + s[Q_c F(Q_c) - G(Q_c)] + p[G(Q_c) - QF(Q_c)] \quad (89)$$

La tabla 11 muestra cómo se comporta la función de utilidad con diferentes valores de L y U.

Tabla 11. (L – U) vs utilidad

L	U										
	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
100	\$ 22,788	\$ 23,654	\$ 24,519	\$ 25,385	\$ 26,250	\$ 27,115	\$ 27,981	\$ 28,846	\$ 29,712	\$ 30,577	\$ 31,442
200	\$ 36,923	\$ 37,788	\$ 38,654	\$ 39,519	\$ 40,385	\$ 41,250	\$ 42,115	\$ 42,981	\$ 43,846	\$ 44,712	\$ 45,577
300	\$ 51,058	\$ 51,923	\$ 52,788	\$ 53,654	\$ 54,519	\$ 55,385	\$ 56,250	\$ 57,115	\$ 57,981	\$ 58,846	\$ 59,712
400	\$ 65,192	\$ 66,058	\$ 66,923	\$ 67,788	\$ 68,654	\$ 69,519	\$ 70,385	\$ 71,250	\$ 72,115	\$ 72,981	\$ 73,846
500	\$ 79,327	\$ 80,192	\$ 81,058	\$ 81,923	\$ 82,788	\$ 83,654	\$ 84,519	\$ 85,385	\$ 86,250	\$ 87,115	\$ 87,981
600	\$ 93,462	\$ 94,327	\$ 95,192	\$ 96,058	\$ 96,923	\$ 97,788	\$ 98,654	\$ 99,519	\$ 100,385	\$ 101,250	\$ 102,115
700	\$ 107,596	\$ 108,462	\$ 109,327	\$ 110,192	\$ 111,058	\$ 111,923	\$ 112,788	\$ 113,654	\$ 114,519	\$ 115,385	\$ 116,250
800	\$ 121,731	\$ 122,596	\$ 123,462	\$ 124,327	\$ 125,192	\$ 126,058	\$ 126,923	\$ 127,788	\$ 128,654	\$ 129,519	\$ 130,385
900	\$ 135,865	\$ 136,731	\$ 137,596	\$ 138,462	\$ 139,327	\$ 140,192	\$ 141,058	\$ 141,923	\$ 142,788	\$ 143,654	\$ 144,519

Fuente: Elaboración propia

La tabla puede ser interpretada de manera análoga a un mapa de calor, cuanto más rojo es el punto más alto es el valor y de manera contraria con los valores bajos y el color verde. Es difícil establecer si el patrón de la tabla se relaciona con algún dato descriptivo de la distribución de demanda, para esto, se realizan “las tablas de calor” de las combinaciones de L y U para los rangos, promedios, desviaciones estándar y coeficientes de variaciones con el fin de determinar si alguno de estos presenta un patrón similar al de la tabla de utilidades.

Tabla 12. (L – U) vs promedio de la distribución

L	U										
	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
100	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050
200	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
300	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150
400	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
500	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250
600	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300
700	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350
800	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400
900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. (L - U) vs rango de la distribución

L	U										
	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
100	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
200	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800
300	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700
400	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
500	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
600	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
700	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
800	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
900	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. (L – U) vs desviación estándar de la distribución

L	U										
	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
100	260	289	318	346	375	404	433	462	491	520	548
200	231	260	289	318	346	375	404	433	462	491	520
300	202	231	260	289	318	346	375	404	433	462	491
400	173	202	231	260	289	318	346	375	404	433	462
500	144	173	202	231	260	289	318	346	375	404	433
600	115	144	173	202	231	260	289	318	346	375	404
700	87	115	144	173	202	231	260	289	318	346	375
800	58	87	115	144	173	202	231	260	289	318	346
900	29	58	87	115	144	173	202	231	260	289	318

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. (L – U) vs coeficiente de variación de la distribución

L	U										
	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
100	47.2%	48.1%	48.9%	49.5%	50.0%	50.5%	50.9%	51.3%	51.7%	52.0%	52.2%
200	38.5%	40.0%	41.2%	42.3%	43.3%	44.2%	44.9%	45.6%	46.2%	46.7%	47.2%
300	31.1%	33.0%	34.6%	36.1%	37.4%	38.5%	39.5%	40.4%	41.2%	42.0%	42.7%
400	24.7%	26.9%	28.9%	30.6%	32.1%	33.4%	34.6%	35.7%	36.7%	37.7%	38.5%
500	19.2%	21.7%	23.8%	25.7%	27.3%	28.9%	30.2%	31.5%	32.6%	33.7%	34.6%
600	14.4%	17.0%	19.2%	21.3%	23.1%	24.7%	26.2%	27.6%	28.9%	30.0%	31.1%
700	10.2%	12.8%	15.2%	17.3%	19.2%	21.0%	22.6%	24.1%	25.4%	26.6%	27.8%
800	6.4%	9.1%	11.5%	13.7%	15.7%	17.6%	19.2%	20.8%	22.2%	23.5%	24.7%
900	3.0%	5.8%	8.2%	10.5%	12.6%	14.4%	16.2%	17.8%	19.2%	20.6%	21.9%

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el patrón de la tabla de utilidades no corresponde al patrón de ninguno de los demás datos, pero es posible identificar que el valor de la utilidad depende más del valor del límite inferior que del límite superior. Tanto L como U son valores extremos, y el escenario más probable es el del valor medio, sin embargo, el hecho de que las utilidades dependan en mayor grado de L que U, indica que el modelo corresponde a un comportamiento pesimista, pues es más sensible a los cambios del peor escenario representados por L. Se dice que la utilidad es altamente sensible a los cambios en el valor del límite inferior de la distribución uniforme y solo varía levemente respecto a los valores del límite superior.

10.2 DISCUSIÓN SOBRE EL MODELO DE CONTRATO

El modelo propuesto se basa en la estructura de abarcamiento propuesta por (Van der Rhee et al., 2010), mientras que el análisis de sensibilidad fue realizado tomando como referencia los trabajos de (Zhang et al., 2015) y (Hou, Wei, Li, Huang, & Ashley, 2017). En esta parte se intenta identificar los aspectos que contrastan este trabajo con el desarrollado por los referentes principales y cuál es la cuota de valor del proyecto.

El trabajo realizado por (Van der Rhee et al., 2010), tiene como principal característica la introducción del concepto de contratos de ingresos compartidos de abarcamiento (CIC-A), la solución del modelo está dado por un par de ecuaciones exactas y se establecen algunas condiciones para que el espacio de soluciones no sea vacío, además, se demuestra que el escenario descentralizado siempre resulta en niveles de desempeño inferiores al del escenario centralizado. El presente trabajo realizado, toma del anterior artículo la estructura del CIC-A y la misma naturaleza de las variables, se agrega la variable de precio de salvamento y se propone la metodología de tres etapas para la formulación y solución del contrato.

Sobre el análisis de resultados, es preciso comentar que (Hou et al., 2017) realizan el análisis de los diferenciales del tamaño de orden y utilidad de manera analítica, y

comentan, de manera implícita, la importancia de dicho análisis; por otro lado, (Zhang et al., 2015), desarrollan el análisis de una manera empírica mediante la observación de los gráficos de la función de utilidad teniendo como variables los diferentes parámetros iniciales del modelo. En el análisis de sensibilidad realizado en este proyecto, se conjugaron estas dos ideas, con el fin de combinar la precisión del análisis mediante las ecuaciones resultantes y la facilidad de interpretación de las tablas y resultados numéricos.

Por último, pero no menos importante, el trabajo propone el contrato en el sector frutícola en una cadena de suministro liderada por el minorista, el cual se adecua a la estructura del CIC-A del modelo referente, ningún otro trabajo de contratos aplicado a este sector es reportado en la literatura.

11. CONCLUSIONES

Los niveles de desempeño global de la cadena de suministro y el mejoramiento individual de los eslabones son objetivos que inicialmente observados van en contra vía, el modelo de contrato propuesto demuestra que, desde el punto de vista teórico resulta posible mejorar el nivel de las utilidades del sistema haciendo a cada eslabón mejor. Antes de la evaluación del contrato, la utilidad la CS descentralizada resultó en niveles de desempeño inferior a la CS centralizada, los cálculos reportados por el contrato señalan que, mediante este, la utilidad de la cadena descentralizada ahora bajo un escenario colaborativo, no solo optimiza el desempeño de la cadena, sino que proporciona mejores resultados a cada uno de los eslabones; se demuestran que el CIC-A puede coordinar la cadena de suministro.

Durante la caracterización de la cadena de suministro fue posible obtener información real producto de las actividades de encuesta realizadas, esto permite evaluar el desempeño del contrato en un sector apropiado para su aplicación.

Las relaciones inter organizacionales del escenario descentralizado pueden ser modeladas mediante la inducción hacia atrás y el diferencial resultante entre este nivel de desempeño y el óptimo, es obtenido y distribuido entre los eslabones, el modelo propuesto se ajusta de manera adecuada a las características de la CS objeto de estudio.

El CIC propuesto puede ser aplicado a cadenas de tres eslabones donde el minorista tiene mayor poder de negociación y capacidades tecnológicas adecuadas para implementarlo, en el caso de estudio discutido, intervienen diferentes agentes del sector frutícola, lo cual permite abordar la problemática desde un punto de vista práctico, con consideraciones que se ajustan al panorama real, se demuestra la capacidad del contrato para lograr la coordinación.

Finalmente, mediante el análisis de los diferenciales de la CS respecto al tamaño de orden y la utilidad, y resultados numéricos del contrato variando los valores de la demanda y precios, se concluye que el CIC-A es altamente sensible al precio de venta y el límite inferior de la distribución de demanda uniforme, mientras que los demás parámetros afectan los resultados de manera menos significativa.

12.RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Los siguientes pasos del proyecto pueden ser divididos en dos partes: qué se puede hacer respecto al modelamiento de otras formas de la cadena de suministro y qué técnicas utilizar cuando la complejidad de la formulación aumente.

Se comentó que la utilidad de la cadena de suministro es sensible a p , esto resulta comprensible por el hecho de que el minorista es el único que recibe ingresos ordinarios en la cadena, una formulación que haga más robusta la solución frente a estos cambios y considere elementos de riesgo es interesante una vez conocidos los presentes resultados. También vale la pena proponer nuevas formulaciones donde haya otras estructuras de toma de decisiones en el escenario descentralizado, diferentes estrategias de fijación de precios colaborativas y formas del estado gana-gana.

El trabajo considera como variable estocástica la demanda, sin embargo, el hecho de asumir esta variable uniformemente distribuida permite que sea modelada mediante ecuaciones exactas. Considerar la variable demanda y precio como estocásticas y modelarlas mediante otras distribuciones más complejas es una manera de dar continuidad al trabajo. Esto y las diferentes formas de formular el CIC-A hacen que el problema no pueda ser resuelto fácilmente, y especialmente, que no se pueda llegar a soluciones explícitas y, por lo tanto, recurrir a métodos numéricos o de simulación es necesario para resolver el problema.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aramyan, L. H., Oude Lansink, A. G., Van Der Vorst, J. G., & Van Kooten, O. (2007). Performance measurement in agri-food supply chains: a case study. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(4), 304-315.

Arshinder, Kanda, A., & Deshmukh, S. G. (2008). Supply chain coordination: perspectives, empirical studies and research directions. *International journal of production Economics*, 115(2), 316-335.

Borodin, V., Bourtembourg, J., Hnaien, F., & Labadie, N. (2016). Handling uncertainty in agricultural supply chain management: a state of the art. *European Journal of Operational Research*, 254(2), 348-359.

Breiter, A., Hegmanns, T., Hellingrath, B., & Spinler, S. (2009). Coordination in supply chain management-review and identification of directions for future research. *Logistik Management*, 1-35.

Cachon, G. P. (2003). Supply chain coordination with contracts. *Handbooks in operations research and management science*, 11, 227-339.

Cachon, G. P., & Lariviere, M. A. (2005). Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: strengths and limitations. *Management science*, 51(1), 30-44.

Cervantes-Godoy, D., & Dewbre, J. (2010). Economic importance of agriculture for poverty reduction.

Chakraborty, T., Chauhan, S. S., & Vidyarthi, N. (2015). Coordination and competition in a common retailer channel: Wholesale price versus revenue-sharing mechanisms. *International Journal of Production Economics*, 166, 103-118.

Cluster Development (2014). Plan de acción del 'Cluster de Futa Fresca del Valle del Cauca. Recuperado de <http://www.redclustercolombia.com>

Combariza, J. A. (2013). Perfil Nacional Consumo de Frutas y Verduras Colombia. Bogotá, Colombia.

Congreso de Colombia. (28 de enero de 1996). Normas sobre competencia desleal. [Ley 256 de 1996]. Recuperado de <http://www.secretariasenado.gov.co/>

El País (07 de mayo de 2017). Estos diez cultivos podrían transformar al Valle del Cauca. Recuperado de <http://www.elpais.com.co/>

El Tiempo. (24 de octubre de 2016). El valle del río Cauca reacomoda sus cultivos y mira hacia las frutas. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/>

El Tiempo. (29 de junio de 2017). Piña, aguacate hass y cítricos, los de mayor proyección para el Valle con Alianza del Pacífico. Recuperado de <http://www.elpais.com.co/>

Escobar, Q.M. (s. f.). Baja competitividad en la cadena de cítricos en Colombia. Recuperado de <http://www.citricaldas.com.co/>

FAO, F. (2015). PMA. 2015. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2015. Cumplimiento de los objetivos internacionales para 2015 en relación con el hambre: balance de los desiguales progresos.

Giannoccaro, I., & Pontrandolfo, P. (2004). Supply chain coordination by revenue sharing contracts. *International journal of production economics*, 89(2), 131-139.
Gibbons, Robert. *Game theory for applied economists*. Princeton University Press, 1992.

Gunasekaran, A., Subramanian, N., & Rahman, S. (2015). Green supply chain collaboration and incentives: Current trends and future directions.

Guo, S., Shen, B., Choi, T. M., & Jung, S. (2017). A review on supply chain contracts in reverse logistics: Supply chain structures and channel leaderships. *Journal of Cleaner Production*, 144, 387-402.

Hou, Y., Wei, F., Li, S. X., Huang, Z., & Ashley, A. (2017). Coordination and performance analysis for a three-echelon supply chain with a revenue sharing contract. *International Journal of Production Research*, 55(1), 202-227.

Hu, B., Meng, C., Xu, D., & Son, Y. J. (2016). Three-echelon supply chain coordination with a loss-averse retailer and revenue sharing contracts. *International Journal of Production Economics*, 179, 192-202.

Huang, X., Choi, S. M., Ching, W. K., Siu, T. K., & Huang, M. (2011). On supply chain coordination for false failure returns: A quantity discount contract approach. *International Journal of Production Economics*, 133(2), 634-644.

Huang, Y. S., Li, M. C., & Ho, J. W. (2016). Determination of the optimal degree of information sharing in a two-echelon supply chain. *International Journal of Production Research*, 54(5), 1518-1534.

Koulamas, C. (2006). A newsvendor problem with revenue sharing and channel coordination. *Decision Sciences*, 37(1), 91-100.

Kumar, R. S., & Pugazhendhi, S. (2012). Information sharing in supply chains: An overview. *Procedia Engineering*, 38, 2147-2154.

Lambert, D. M., & Cooper, M. C. (2000). Issues in supply chain management. *Industrial marketing management*, 29(1), 65-83.

Lee, H. L. (2000). Creating value through supply chain integration. *Supply chain management review*, 4(4), 30-36.

Leyton-Brown, K., & Shoham, Y. (2008). Essentials of game theory: A concise multidisciplinary introduction. *Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning*, 2(1), 1-88.

Lian, Z., & Deshmukh, A. (2009). Analysis of supply contracts with quantity flexibility. *European Journal of Operational Research*, 196(2), 526-533.

López, J. B. (5 de abril de 2017). Productores de cítricos y aguacate del Valle recibirán apoyo del Quindío para exportar. Recuperado de <http://www.valledelcauca.gov.co>.

Min, H., & Zhou, G. (2002). Supply chain modeling: past, present and future. *Computers & industrial engineering*, 43(1), 231-249.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2006). Plan Frutícola Nacional. Valle del Cauca: tierra de frutas. Cali, Colombia.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2006). Plan Frutícola Nacional. Cali, Colombia.

Myerson, R. B. (2013). *Game theory*. Harvard university press.

Nicholson, W., & Snyder, C. (2012). *Microeconomic theory: Basic principles and extensions*. Nelson Education.

Palsule-Desai, O. D. (2013). Supply chain coordination using revenue-dependent revenue sharing contracts. *Omega*, 41(4), 780-796.

Pawlewski, P. (2015). Coordination in the Supply Chain. In *10th International Conference on Soft Computing Models in Industrial and Environmental Applications* (pp. 439-450). Springer, Cham.

Procolombia. (s. f.). Guía de Contratos de Colaboración. Recuperado de <http://inviertaencolombia.com.co/>

Ramdas, K. & Spekman, R.E. (2000), "Chain or shackles: understanding what drives supply-chain performance", *Interfaces*, Vol. 30 No. 4, pp. 3-21.

- Silver, Pyke, & Douglas. (2017). Inventory and Production Management in Supply Chains. CRC Press.
- Sluis, S., & De Giovanni, P. (2016). The selection of contracts in supply chains: An empirical analysis. *Journal of Operations Management*, 41, 1-11.
- Spekman, R. E., Kamauff Jr, J. W., & Myhr, N. (1998). An empirical investigation into supply chain management: a perspective on partnerships. *Supply Chain Management: An International Journal*, 3(2), 53-67.
- Superintendencia de Industria y Comercio (s. f.). Prácticas restrictivas de la competencia. Recuperado de <http://www.sic.gov.co/>
- Taylor, T. A. (2002). Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects. *Management science*, 48(8), 992-1007.
- Teo Wang Leo. (2010). Intermediate Microeconomics II, ECON 301 Oligopoly. Recuperado de <http://people.stfx.ca/tleo/>
- Tsay, A. A. (1999). The quantity flexibility contract and supplier-customer incentives. *Management science*, 45(10), 1339-1358.
- Turocy, T. L., & von Stengel, B. (2001). Game theory*: Draft prepared for the Encyclopedia of information systems. Dept. Math., London School Econ., London, UK, Tech. Rep. LSE-CDAM-2001-09.
- Uribe-Castro, Hernando. (2015). Expansión Cañera En El Valle Del Cauca Y Resistencias Comunitarias (Colombia). *Ambiente y Sostenibilidad*, 4(1), 16-30.
- Van Der Rhee, B., Van Der Veen, J. A., Venugopal, V., & Nalla, V. R. (2010). A new revenue sharing mechanism for coordinating multi-echelon supply chains. *Operations research letters*, 38(4), 296-301.
- Wong, W. K., Qi, J., & Leung, S. Y. S. (2009). Coordinating supply chains with sales rebate contracts and vendor-managed inventory. *International Journal of Production Economics*, 120(1), 151-161.
- Xu, L., & Beamon, B. M. (2006). Supply chain coordination and cooperation mechanisms: an attribute-based approach. *Journal of Supply Chain Management*, 42(1), 4-12.
- Xu, X., & Zhang, W. (2016, May). Revisiting the IT Productivity Paradox: A Technology Life Cycle Perspective. In WHICEB (p. 6).
- Yildiz, M. (2013). Game theory lecture notes.

Zhang, J., Liu, G., Zhang, Q., & Bai, Z. (2015). Coordinating a supply chain for deteriorating items with a revenue sharing and cooperative investment contract. *Omega*, 56, 37-49.

Zhou, Y. W., & Yang, S. (2008). Pricing coordination in supply chains through revenue sharing contracts. *Information and Management Sciences*, 19(1), 31-51.